

วงจรรีบค-บูสต์ ควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเลือกอัตโนมัติระหว่างการรบกวนและ  
สังเกตกับการอ่านค่าจากตารางเพื่อประยุกต์ใช้ติดตามหาจุดการทำงานที่  
กำลังงานสูงสุดแบบใหม่

CONTROLLED POWER BUCK-BOOST CONVERTER BY USING AUTOMATICALLY  
SELECTIVE TECHNIQUE BETWEEN P&O AND LOOKUP TABLE FOR NOVEL MPPT  
APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-020-018

วงจรมัลติ-บูสต์ ควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเลือกอัตโนมัติระหว่างการรบกวนและ  
สังเกตกับการอ่านค่าจากตารางเพื่อประยุกต์ใช้ติดตามหาจุดการทำงานที่  
กำลังงานสูงสุดแบบใหม่

CONTROLLED POWER BUCK-BOOST CONVERTER BY USING AUTOMATICALLY  
SELECTIVE TECHNIQUE BETWEEN P&O AND LOOKUP TABLE FOR NOVEL MPPT  
APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-020-018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROLLED POWER BUCK-BOOST CONVERTER BY USING AUTOMATICALLY  
SELECTIVE TECHNIQUE BETWEEN P&O AND LOOKUP TABLE FOR NOVEL MPPT  
APPLICATIONS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
LADKRABANG 2019

KMITL-2019-EN-M-020-018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

วงจรรีบ-บูสต์ ควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเลือก  
อัตโนมัติระหว่างการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจาก  
ตารางเพื่อประยุกต์ใช้ติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงาน  
สูงสุดแบบใหม่

ชื่อนักศึกษา

นายยุติการณ์ ใจสะอาด

รหัสประจำตัว

57601091

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2562

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.อนวัธน์ จางวนิชเลิศ

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวงจรและวิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบใหม่เพื่อให้โซล่าเซลล์จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสงต่างๆ โดยใช้วงจรรีบ-บูสต์เป็นวงจรถูกหลักเนื่องจากสามารถควบคุมให้เพิ่ม-ลดแรงดันที่ขาออกเนื่องเทียบกับแรงดันขาเข้าได้ภายในวงจรเดียว และในส่วนของวิธีการได้ใช้กระบวนการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบการรบกวนและสังเกตร่วมกับการอ่านค่าจากตาราง ซึ่งระบบจะใช้วิธีการรบกวนและสังเกตเป็นพื้นฐานในการติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดและเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับวัฏจักรการทำงานบนที่กลางตาราง เมื่อมีเหตุการณ์ความเข้มแสงภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ระบบจะเปลี่ยนวิธีการควบคุมจากการรบกวนและสังเกตเป็นการอ่านค่าจากตารางโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้ระบบลู่เข้าหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้รวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Controlled Power Buck-Boost Converter by using Automatically Selective Technique between P&O and Lookup Table for Novel MPPT Applications
<b>Student</b>	Mr.Yuttikarn Jaisa-ard
<b>Student ID.</b>	57601091
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2019
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Anuwat Jangwanitlert

### ABSTRACT

This thesis shows a circuit and converter methodology to newly track MPP on any level of Irradiation by using Buck-Boost converter. The circuit should be Buck-Boost because an output voltage can be adjusted to be higher or lower than an input voltage. By the way, the methodology in this thesis is operated between P&O MPPT and Lookup Table MPPT. At first, the control system operates on P&O methodology to control tracking MPP and records values of Irradiation and Duty Cycle in the Table. When the values of Irradiation is under defined the condition, the system operation will turn P&O MPPT to Lookup Table MPPT automatically. So, the system operates on MPP more quickly.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์จะสำเร็จมิได้ถ้าปราศจากความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่ช่วยให้คำแนะนำในแก้ไขปัญหาทั้งทางด้านแนวคิดและด้านเทคนิคต่างๆ รวมถึงเอื้อเพื่อห้องปฏิบัติการทดลอง ตลอดระยะเวลาทำการวิจัยและศึกษาที่ผ่านมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณอาจารย์และบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยสอนวิชาความรู้และวิธีการทางภาคปฏิบัติต่างๆ ตลอดมา

ขอขอบคุณทุกท่านในห้องปฏิบัติการทดลองของ รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง จนข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้จนลุล่วง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ให้กับทุกคนที่มีความสนใจหรือต้องการทำการทดลองที่คล้ายคลึงและใกล้เคียงกับวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า เพื่อค้นพบองค์ความรู้ใหม่และพัฒนาต่อยอดความรู้ต่อไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

ยุติการณ์ ไจสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด III อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนด.....	2
1.4 วิธีการทดลองในงานวิจัย.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1.3 สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.4 ผลกระทบจากความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ.....	7
2.1.5 ปัจจัยลดทอนกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.6 จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.2 อุปกรณ์สวิตซ์.....	10
2.3 วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	12
2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	12
2.3.2 หลักการทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	12
2.3.2.1 ขณะสวิตซ์นำกระแส.....	13
2.3.2.2 ขณะสวิตซ์ไม่นำกระแส.....	14
2.3.3 การเปรียบเทียบวงจรบัค-บูสต์กับวงจรแรงดันกระแสตรงอื่นๆ.....	16
2.3.4 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	17
2.3.5 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก.....	19
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
2.5 ET-USB FLASH DRIVE.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 เซ็นเซอร์แสง.....	24
2.6.1 ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง.....	24
2.6.2 Photo Diode และ Photo Transistor.....	25
2.6.3 Infrared Sensor.....	25
2.6.4 Reflective Optical Sensor.....	26
บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบ.....	27
3.1 บทนำ.....	27
3.2 ภาพรวมของวงจรในโปรแกรม MATLAB Simulink.....	27
3.2.1 ภาควงจรกำลัง.....	28
3.2.2 ภาควงจรควบคุม.....	29
3.3 ภาพรวมการทำงานของวงจรจริง.....	30
3.3.1 ภาควงจรกำลัง.....	30
3.3.2 ภาควงจรควบคุม.....	31
3.3.2.1 การวัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและออก.....	31
3.3.2.2 การวัดกระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก.....	33
3.3.2.3 การวัดค่าความเข้มแสง.....	34
3.4 แนวคิดและวิธีการควบคุม.....	35
3.4.1 โหมดการอ่านค่าจากตาราง.....	35
3.4.2 โหมดการรบกวนและสังเกต.....	38
3.4.3 การบันทึกค่าลงในตาราง.....	39
3.5 เครื่องบันทึกค่าการทดลอง.....	41
3.6 สรุป.....	42
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและผลลัพธ์.....	43
4.1 บทนำ.....	43
4.2 การทดลองผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink.....	43
4.2.1 การกำหนดสถานการณ์เพื่อการจำลอง.....	43
4.2.2 ผลการทดลองผ่านโปรแกรมจำลอง.....	44
4.3 การทดลองอุปกรณ์จริง.....	47
4.3.1 การทดสอบวิธีการรบกวนและสังเกต.....	47
4.3.2 การสร้างและทดสอบวิธีการเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ .txt.....	49
4.3.3 การทดสอบวิธีการอ่านค่าจากตาราง.....	49
4.3.4 การทดสอบกับแผงโซลาร์เซลล์.....	50
4.3.5 การทดลองจริง.....	52
4.4 สรุปผลการทดลอง.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดvอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุป.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก. ....	59
ภาคผนวก ข. ....	67
ประวัติผู้เขียน.....	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดVIอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.4 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.5 กราฟแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve).....	7
2.6 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	7
2.7 กราฟกระแสและแรงดันที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	8
2.8 แผนผังสาเหตุการลดทอนกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.9 คุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของโหลดกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.10 ความผิดพลาดของวิธีการบวกรวมและสังเกตเมื่อแสงเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด.....	10
2.11 MOSFET เปรียบเสมือนสวิตช์.....	10
2.12 ตัวอย่างแรงดันด้านออกจากวงจรสวิตช์.....	11
2.13 วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	12
2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	13
2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	14
2.16 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	15
2.17 อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตช์ต่อวัฏจักรการทำงาน.....	17
2.18 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	21
2.19 ET-BASE dsPIC30F4011.....	22
2.20 ET-USB FLASH DRIVE.....	24
2.21 ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง.....	24
2.22 Photo Diode.....	25
2.23 Photo Transistor.....	25
2.24 Infrared Diode.....	25
2.25 Reflective Optical Sensor.....	26
3.1 วงจรโดยรวมใน MATLAB Simulink.....	27
3.2 บล็อกไดอะแกรมโดยรวม.....	28
3.3 ภายในบล็อก Buck-Boost Converter.....	28
3.4 ภายในบล็อก P&O vs. Look up table MPPT.....	29
3.5 การออกแบบวงจรกำลัง.....	29
3.6 วงจรกำลังของจริง.....	30
3.7 dsPIC30F4011 พร้อมบอร์ดสำเร็จรูป.....	32
3.8 IC เซนเซอร์กระแส ACS712 พร้อมบอร์ดขนาดเล็กสำเร็จรูป.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VI ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 วงจรสำหรับการวัดค่าความเข้มแสง.....	33
3.9 การติดตั้งบอร์ดเซนเซอร์กระแสกับบอร์ดวงจรหลัก.....	34
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสงของตัวต้านทานแปรค่าตามแสง...	34
3.11 วงจรสำหรับการวัดค่าความเข้มแสง.....	35
3.12 วิธีการอ่านค่าจากตารางกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงมากกว่าค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งถัดไป (กรณีที่ 1 เป็นจริง).....	37
3.13 วิธีการอ่านค่าจากตารางกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงน้อยกว่าค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งก่อนหน้า (กรณีที่ 2 เป็นจริง).....	37
3.14 วิธีการการอ่านค่าจากตารางกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงเท่ากับค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งก่อนหน้าและตำแหน่งถัดไป (กรณีที่ 3 เป็นจริง).....	37
3.15 ตัวอย่างการบันทึกค่าลงในตาราง.....	39
3.16 Flowchart การควบคุมทั้งหมด.....	40
3.17 ET-USB FLASH DRIVE ในการทดลองจริง.....	41
3.18 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ถูกบันทึกในรูปแบบไฟล์ .txt .....	42
4.1 ค่าความเข้มแสงจำลอง.....	44
4.2 ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรมโดยป้อนค่าความเข้มแสงจากรูปที่ 4.1 (ก).....	45
4.3 ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรมโดยป้อนค่าความเข้มแสงจากรูปที่ 4.1 (ข).....	46
4.4 ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากการทดสอบ.....	47
4.5 กราฟแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าขณะทำการทดลองการทำงานของวิธีการรบกวน และสังเกต.....	48
4.6 วิธีการทดสอบโหมดการอ่านค่าจากตาราง.....	49
4.7 คุณลักษณะของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้สำหรับการทดลอง.....	50
4.8 ผลการทดลองระยะสั้น.....	51
4.9 ผลการทดลองเต็มวันของวิธีการแบบใหม่.....	53

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรบัค บูสต์ และวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	17
4.1 ผลการทดลองโหมตวิธีการอ่านค่าจากตาราง.....	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดXอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานทางไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงานหมุนเวียนมีความสำคัญและสัดส่วนการใช้งานที่สูงขึ้นจากหลายปีก่อนที่ผ่านมา สำหรับประเทศไทยจะมองข้ามแหล่งพลังงานหมุนเวียนชนิดนี้ไปไม่ได้เลยคือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากตำแหน่งของประเทศอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงได้รับความเข้มของแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง และเมื่อก้าวถึงพลังงานแสงอาทิตย์สิ่งจำเป็นที่ช่วยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าคือ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

โดยทั่วไปการต่อตรงโซลาร์เซลล์เข้าสู่โหลดสามารถกระทำได้แต่จะไม่ได้จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด ฉะนั้นระหว่างโซลาร์เซลล์กับโหลดควรจะมีวงจรเพื่อให้ได้จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าโซลาร์เซลล์สามารถทำงานได้เต็มสมรรถนะ

ในบทความนี้ได้ใช้เป็นวงจรบัค-บูสต์ (Buck-Boost) [1] เป็นวงจรกำลังหลัก เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ไม่มีความแน่นอนซึ่งส่งผลต่อแรงดันและกระแสที่โซลาร์เซลล์มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาจึงจำเป็นต้องใช้วงจรที่สามารถเพิ่มหรือลดทอนแรงดันได้ ในส่วนของการติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด (MPPT) [2][3] ได้ใช้วิธีการรบกวนและสังเกต (P&Q) [4] เพื่อเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับวัฏจักรการทำงาน (duty cycle) ที่ทำให้เกิดจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถคำนวณเทียบจากตารางได้ คอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมเปลี่ยนวิธีการจากการรบกวนและสังเกตเป็นการอ่านข้อมูลจากตาราง (Look up Table) [5] เพื่อให้เข้าสู่จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้อย่างรวดเร็วขึ้น

การจำลองผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink ช่วยให้ผู้ทำการวิจัยสามารถพัฒนาแนวคิดเงื่อนไขแต่ละเอียงยิ่งขึ้นรวมถึงทำให้มองเห็นถึงแนวโน้มการพัฒนาให้เป็นจริงได้ จากที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงได้เริ่มสร้างอุปกรณ์จริงขึ้นมาโดยยึดตามหลักการออกแบบในโปรแกรมจำลอง ในส่วนของอุปกรณ์จริงผู้วิจัยได้เพิ่มเติมส่วนการบันทึกข้อมูลการทดลองแบบใหม่เพื่อทดแทนการใช้งานเครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger) ที่มีราคาสูง โดยไฟล์ข้อมูลที่เก็บเป็นรูปแบบไฟล์ .txt

### 1.2 วัตถุประสงค์

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาจึงเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนาวิธีการซึ่งเป็นการต่อยอดองค์ความรู้ดั้งเดิมที่มีนักวิจัยหลายๆ ท่านได้ทำการวิจัยและเผยแพร่ผลงานมา ซึ่งงานวิจัยนี้นำเทคนิควิธีการติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบรบกวนและสังเกตผสมผสานกับวิธีการอ่านค่าจากตารางซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1. ระบบควบคุมสามารถติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดโดยใช้วิธีการควบคุมแบบใหม่ได้ทั้งการใช้โปรแกรมจำลองและอุปกรณ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบควบคุมสามารถใช้วิธีการควบคุมแบบใหม่ในการหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้รวดเร็วกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตทั้งการใช้โปรแกรมจำลองและอุปกรณ์จริง กรณีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน
3. สร้างอุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าได้เอง โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องบันทึกข้อมูลตามท้องตลาดที่มีราคาแพง

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนด

1. ออกแบบวงจรและวิธีการควบคุมโซล่าเซลล์เพื่อพัฒนาหาหนทางในการติดตามกำลังงานสูงสุดในรูปแบบใหม่เพื่อค้นหาแนวทางที่รวดเร็วกว่าแบบดั้งเดิม
2. ประยุกต์ใช้วิธีการอ่านค่าจากตารางผสมผสานกับวิธีการรบกวนและสังเกต
3. ศึกษาวิธีการควบคุมแบบใหม่ถึงข้อดี-เสียของวิธีการนี้
4. ทดลองโดยใช้ทั้งโปรแกรมจำลอง MATLAB Simulink และอุปกรณ์จริง
5. ขอบเขตแรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าไม่เกิน 18 V และ 2.22 A ตามลำดับ โดยยึดจากพิกัดแผงโซล่าเซลล์ที่ทดลองเป็นหลัก
6. ใช้โพลต์เป็นค่าความต้านทานเพื่อสะดวกแก่การทดลองทั้งโปรแกรมจำลองและอุปกรณ์จริง
7. อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลสามารถเก็บข้อมูลเป็นไฟล์ .txt ลงบน Flash Drive

### 1.4 วิธีการทดลองในงานวิจัย

จำลองการทำงานผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อทดสอบเงื่อนไขการทำงานและเป็นการตรวจเช็ควิธีการใหม่ถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นอุปกรณ์จริง หลังจากการทดลองส่วนนี้ถ้าผลลัพธ์ของแนวโน้มสามารถพัฒนาต่อไปได้จึงเริ่มดำเนินการในส่วนสร้างอุปกรณ์จริงต่อไป

ในส่วนของอุปกรณ์จริงได้ดำเนินการออกแบบตามการจำลองซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนบางอุปกรณ์ที่ใช้ตามความเหมาะสม โดยหลักๆ ของอุปกรณ์ประกอบด้วยแผงโซล่าเซลล์เชื่อมต่อผ่านวงจรกำลังหลัก (วงจรบัค-บูสต์) เข้าสู่โพลต์ โดยวงจรกำลังหลักมี MOSFET ทำงานบนความถี่ 30 kHz ซึ่งถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ที่ได้โปรแกรมไว้ให้ติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบวิธีผสมผสานระหว่างการรบกวนและสังเกตกับการอ่านข้อมูลจากตารางและยังสามารถเช็คประวัติการทำงานผ่านการบันทึกของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับเทคนิควิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด และเทคนิคการอ่านค่าจากตารางพื้นฐาน เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์วิธีการใหม่นี้ขึ้น และเพื่อให้มั่นใจว่าเทคนิควิธีการใหม่นี้ยังไม่เคยมีนักวิจัยท่านใดเคยทำมาก่อน ก่อนการลงวิจัยจริงได้ใช้ MATLAB Simulink จำลองวงจรและส่วนควบคุมที่ถูกโปรแกรมให้ติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดโดยผสมผสานระหว่างการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจากตาราง ซึ่งได้ใช้ความเข้มแสงรูปแบบต่างๆ ทดสอบเพื่อเป็นแนวทางและสร้างความมั่นใจว่ามีแนวโน้มและความสำเร็จเป็นที่ทำได้ จากนั้นจึงได้ลงมือทำอุปกรณ์จริงขึ้นมาโดยยังคงยึดหลักการและวิธีการควบคุมเดียวกันกับตอนใช้โปรแกรมจำลอง โดยมีวิธีการดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. สร้างวงจรกำลังหลักและวงจรควบคุมต่างๆ
2. สร้างเครื่องบันทึกข้อมูลแบบง่ายเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลการทดลองต่างๆ
3. ทำการทดลองการควบคุมหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
4. ทำการควบคุมเงื่อนไขให้ทำงานใหม่วิธีการอ่านค่าจากตาราง เพื่อทดสอบการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่
5. นำวิธีการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจากตารางมารวมกันและทำการทดสอบ

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

การติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบวิธีการรบกวนและสังเกตจะเกิดปัญหาในเรื่องการแกว่งของจุดการทำงานเมื่อเข้าใกล้กำลังงานสูงสุด รวมถึงปัญหาเรื่องความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันซึ่งจะทำให้การติดตามผิดพลาดและเข้าสู่จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดช้าลง ในงานวิจัยนี้เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถขจัดปัญหาเหล่านี้ออกไปและสามารถติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้เร็วกว่า และสามารถเช็คประวัติการทำงานได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องบันทึกข้อมูลที่ราคาสูง

## บทที่ 2

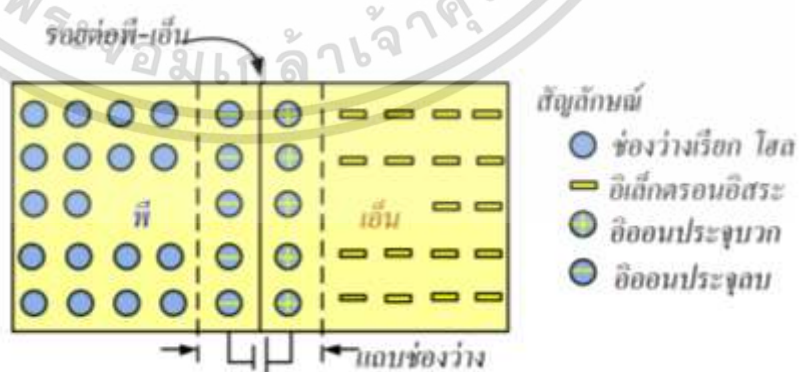
# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

#### 2.1.1 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

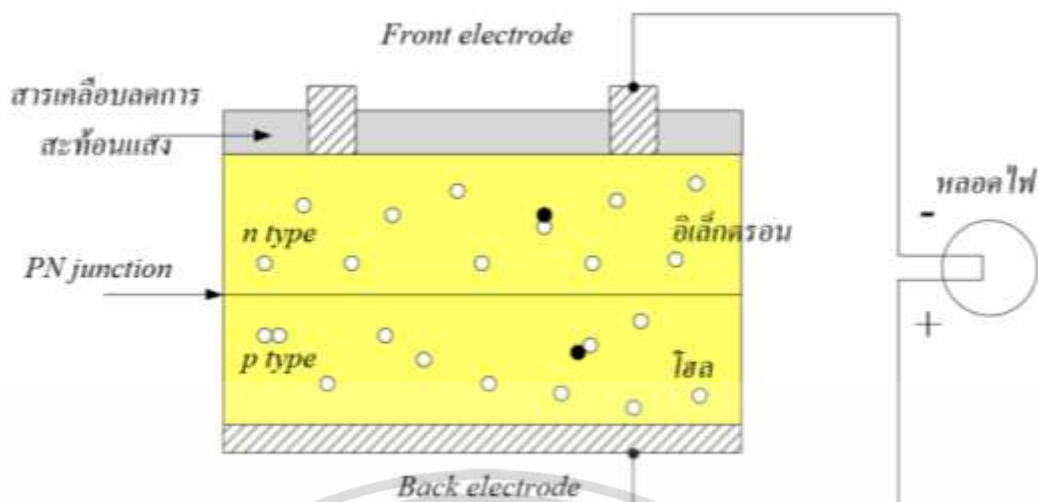
เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทำจากสารกึ่งตัวนำทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยตรง อาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่ได้นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนใช้สารเจือปน คือ โบรอน เพื่อทำให้เป็นวัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) และการขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบทำให้ส่วนนี้เทียบได้กับอนุภาคประจุบวก ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นผ่านการเติมสารเจือปน คือ ฟอสฟอรัส เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน ซึ่งจุดเชื่อมต่อเรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น ดังรูปที่ 2.1

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อนุภาคพลังงานที่ขึ้นกับค่าความถี่ของคลื่นรังสีเรียกอนุภาคพลังงานนี้ว่า โฟตอน ซึ่งจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนใน N-type และโฮล เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน ดังรูปที่ 2.2 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2554) อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปชั้น P-type จากนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

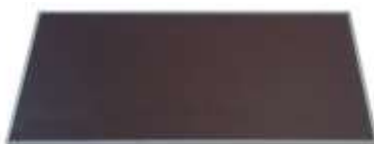
### 2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ ดังรูปที่ 2.3

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mono crystalline Silicon และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก เซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มนี้มีประสิทธิภาพ 10 – 15 %
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบา แต่ประสิทธิภาพเพียง 5 – 10 %
3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลลูไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ทำให้ประสิทธิภาพมากถึง 20 – 25 %



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ (ก) ชนิดผลึกเดี่ยว (ข) ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (ค) ชนิดสารกึ่งตัวนำอื่นๆ

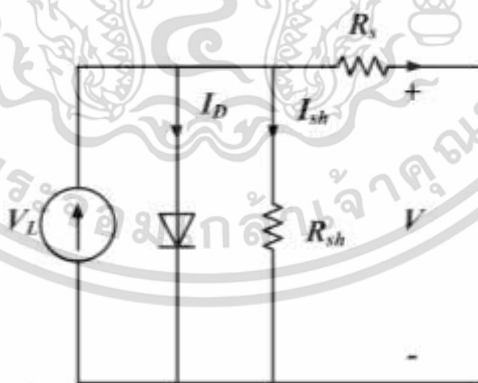
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

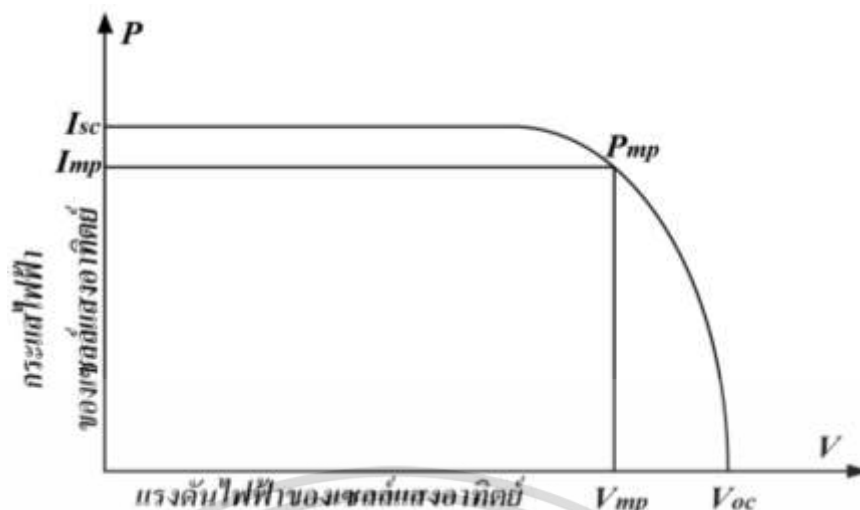
วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ( $I_{sh}$ ) ต่อขนานกับไดโอดและความต้านทานขนาน ( $R_{sh}$ ) และต่ออนุกรมอยู่กับความต้านทานด้านนอก ( $R_s$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.4 เมื่อทำการลัดวงจร (Short Circuit) กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะผ่านวงจรภายนอก ในทางตรงกันข้ามเมื่อทำการเปิดวงจร (Open Circuit) กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะไหลผ่านไดโอดที่ต่อขนานภายในเซลล์แทน

โดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ตารางเซนติเมตร จะให้กระแสไฟฟ้า ลัดวงจรประมาณ 20 - 40 มิลลิแอมป์ และสามารถให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 - 0.7 โวลต์ ถ้าต้องการกระแสไฟฟ้ามากๆ ก็สามารถทำได้โดยนำเซลล์มาต่อขนานกันหรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ก็สามารถนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน

จากรูปที่ 2.5 กระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่เปลี่ยนค่าตั้งแต่สภาวะลัดวงจรถึงสภาวะวงจรเปิดโดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะลัดวงจร (Short Circuit Current :  $I_{sc}$ ) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open Circuit Voltage :  $V_{oc}$ ) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็ได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at Maximum Point :  $P_{MP}$ ) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้ เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at Maximum Power Point :  $I_{MP}$ ) และแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at Maximum Power Point :  $V_{MP}$ ) ตามลำดับ



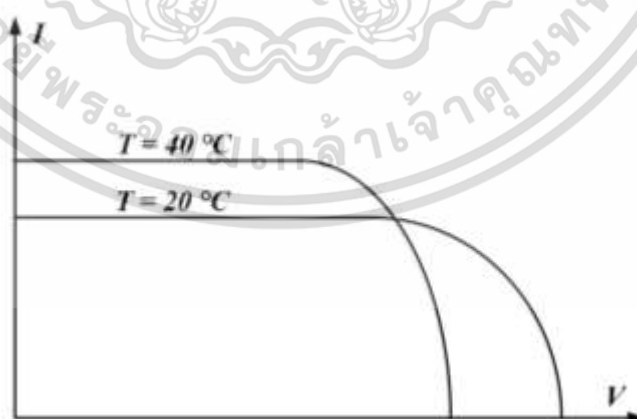
รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.5 กราฟแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

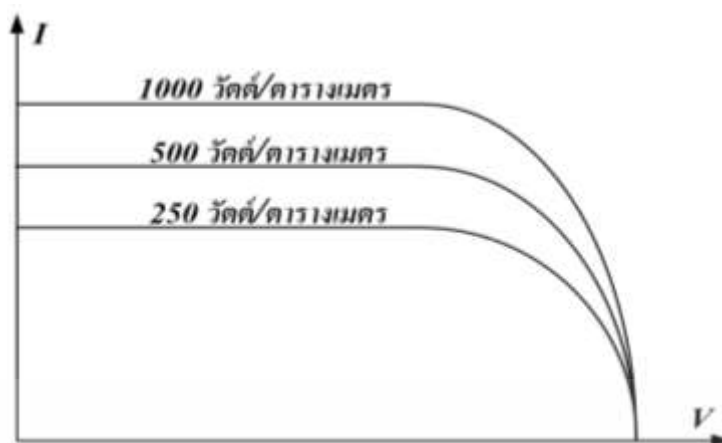
#### 2.1.4 ผลกระทบจากความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553) จะส่งผลให้ได้กราฟ I – V Curve ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ความเข้มแสงอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรกลับมีค่าสูงขึ้น แต่กรณีจากรูปที่ 2.7 เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสลัดวงจร เพิ่มขึ้น และแรงดันวงจรเปิดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 2.6 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

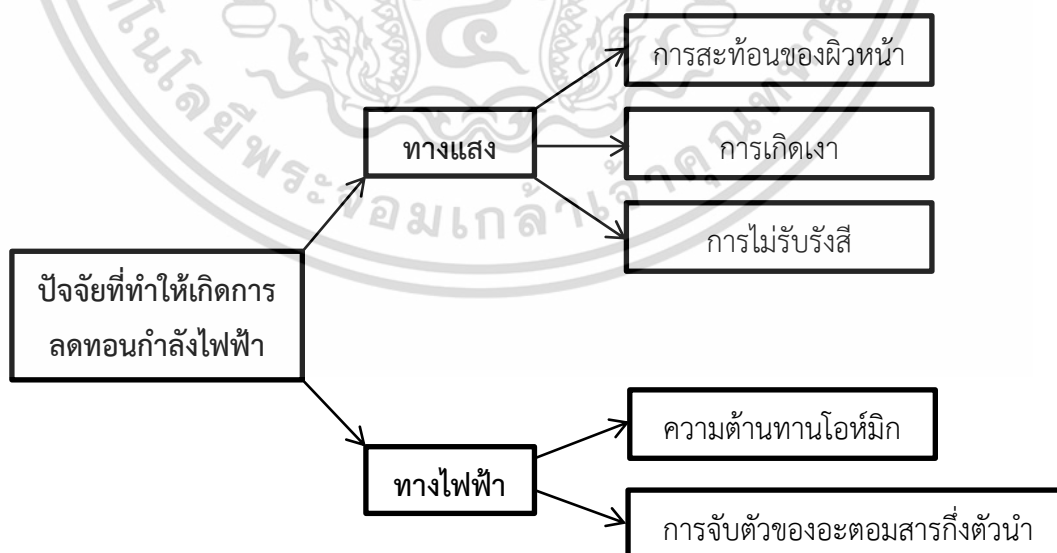
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กราฟกระแสและแรงดันที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

### 2.1.5 ปัจจัยลดทอนกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

สาเหตุการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2553) มาจาก 2 ปัจจัยหลักคือ ทางแสง (Optical) และทางไฟฟ้า (Electrical) สำหรับทางแสงปัจจัยที่มีผลต่อการรับแสง ได้แก่ การสะท้อน (Reflection) การบังเงา (Shadowing) และไม่รับรังสี (Not absorbed radiation) ซึ่งการลดการสะท้อนแสงนั้นทำได้โดยการเคลือบสาร ป้องกันการสะท้อน (Antireflection Coating) และการทำเซอร์เฟซเทคเจอร์ริง (Surface texturing) ซึ่งสามารถอธิบายให้เห็นภาพรวมในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนผังสาเหตุการลดทอนกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

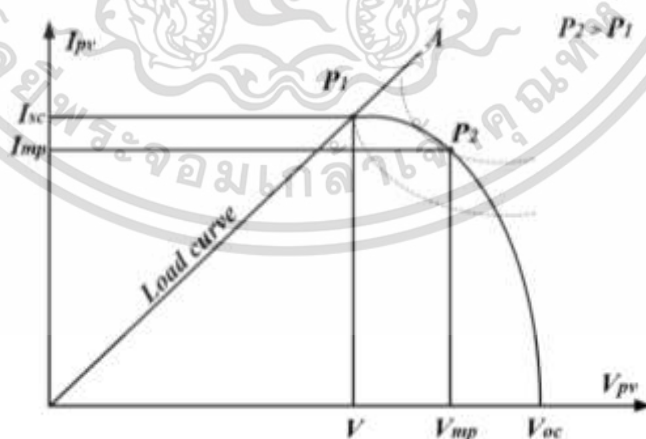
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 จุดการทำงานที่ก้ำกึ่งงานสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Esrarn & Chapman, 2007) ให้กับโหลด จะพบว่า เส้นกราฟคุณลักษณะของโหลดต้องเหมาะสมกับเส้นกราฟระหว่างแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ดัง รูปที่ 2.9 (พงษ์ศักดิ์ พวงบุญชูและศุภสิทธิ์ อรรถศิริปัญญา, 2553) จากเส้นกราฟ A คือลักษณะเฉพาะของโหลด จะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังที่จุด  $P_1$  มีค่าน้อยกว่าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุด  $P_2$  ดังนั้นจึงมีเทคนิคต่างๆในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

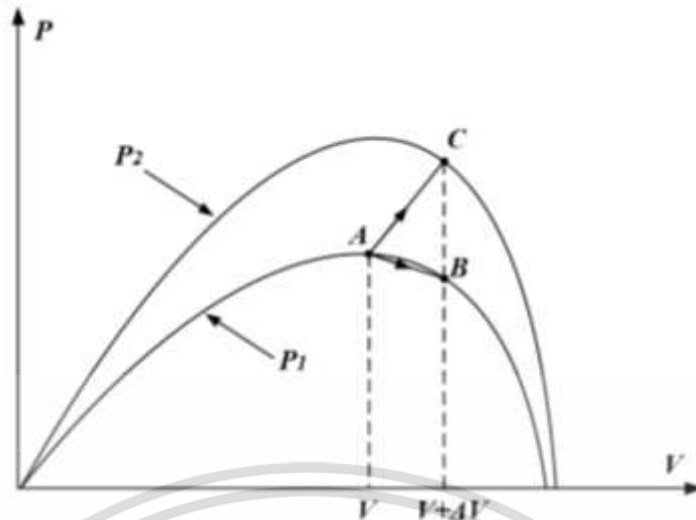
เทคนิคต่างๆในการติดตามหาจุดการทำงานที่ก้ำกึ่งไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปกติจะเป็นส่วนสำคัญของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ทว่าปัจจุบันมีวิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่ก้ำกึ่งไฟฟ้าสูงสุดที่หลากหลายรวมถึงการพัฒนาและปฏิบัติที่แตกต่างกันออกไป และหนึ่งในเทคนิคที่เป็นที่นิยมคือ วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturb and Observe)

วิธีการรบกวนและการสังเกต หรือ วิธีการปีนเนินเขา (Hill-Climbing) มีหลักการทำงานเป็นคาบเวลาโดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือเป็นการรบกวนแรงดันหลังจากทำการวัดกำลังไฟฟ้าและเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนเพื่อดูค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาจุดการทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายในการหา กำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่จะเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงที่ไม่สามารถหาจุดได้อย่างแม่นยำเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอย่างทันทีทันใด



รูปที่ 2.9 คุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของโหลดกับเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



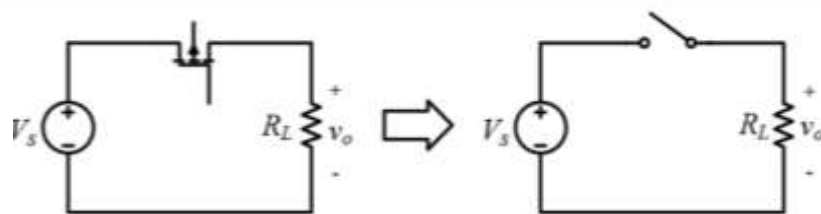
รูปที่ 2.10 ความผิดพลาดของวิธีการรบกวนและสังเกตเมื่อแสงเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด

ความผิดพลาดของวิธีการรบกวนและการสังเกตจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงทันทีทันใด จากรูปที่ 2.10 จะเกิดการเบี่ยงเบนจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากจุดการทำงานที่สถานะปัจจุบันที่จุด A ที่อยู่บนเส้นกราฟ กำลังไฟฟ้า  $P_1$  เมื่อทำการบังคับแรงดันไฟฟ้าให้เข้าหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด จุดการทำงานจะย้ายมาอยู่ที่จุด B แต่ในขณะนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแบบทันทีทันใด ส่งผลให้เกิดเส้นกราฟกำลังไฟฟ้า  $P_2$  ขึ้น แล้วจุดการทำงานก็จะเปลี่ยนมาอยู่ที่จุด C แล้วเมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่จุด C แล้วมีค่ามากกว่า จุด A ส่งผลให้ทิศทางการลู่เข้าจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดผิดพลาด

## 2.2 อุปกรณ์สวิตซ์

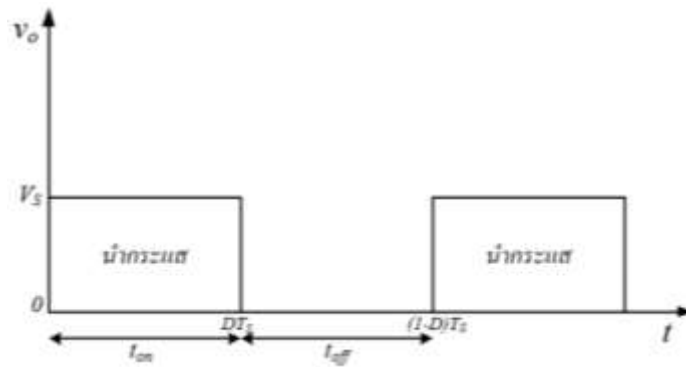
อุปกรณ์สวิตซ์เช่น MOSFET หรือ IGBT จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมดการทำงานคือ โหมดนำกระแส และหยุดนำกระแส โดยสมมติให้ MOSFET หรือ IGBT ที่ใช้ เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในอุดมคติ ดังในรูปที่ 2.11

หลักการทำงานเบื้องต้นของวงจรสวิตซ์ [6] คือ เมื่อสวิตซ์นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ( $v_o = V_s$ ) และเมื่อสวิตซ์ไม่นำกระแสแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ( $V_s = 0$ ) ซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันด้านออกเป็นพัลส์ ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 MOSFET เปรียบเสมือนสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างแรงดันต้านทานออกจากวงจรสวิตซ์ซิง

ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยหรือค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต้านทานออกได้จากสมการที่ (2.1) โดยอาศัยหลักการทำงานของ PWM (Pulse-Width Modulation) ในการควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงแรงดัน output

$$V_{o,av} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o dt = \frac{1}{T_s} [V_s \times t_{on}] = \frac{t_{on}}{T_s} \times V_s \quad (2.1)$$

เมื่อ  $D = \frac{t_{on}}{T_s}$  ในสมการที่ (2.1) จะได้สมการ (2.2)

$$V_{o,av} = DV_s \quad (2.2)$$

โดย  $D$  คือ วัฏจักรการทำงาน (Duty cycle หรือ Duty ratio) หมายถึงอัตราส่วนของช่วงเวลาที่มีสวิตซ์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตซ์ซิงที่มีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.3)

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.3)$$

ฉะนั้น สมการที่อธิบายช่วงที่สวิตซ์นำกระแสเป็นดังสมการ (2.4)

$$t_{on} = DT_s \quad (2.4)$$

ในทางตรงกันข้าม สมการที่อธิบายช่วงที่สวิตซ์หยุดนำกระแสเป็นดังสมการ (2.5)

$$t_{off} = (1 - D)T_s \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรบัค-บูสต์เป็นวงจรที่สามารถเพิ่มหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ซึ่งมีวงจรมีดังรูปที่ 2.13

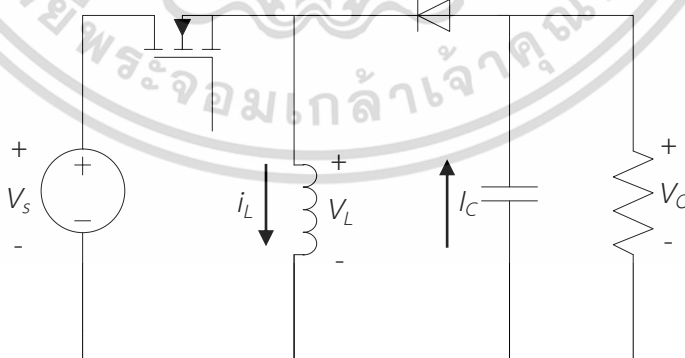
### 2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะทำการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบจะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ซึ่งหมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจรโดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ

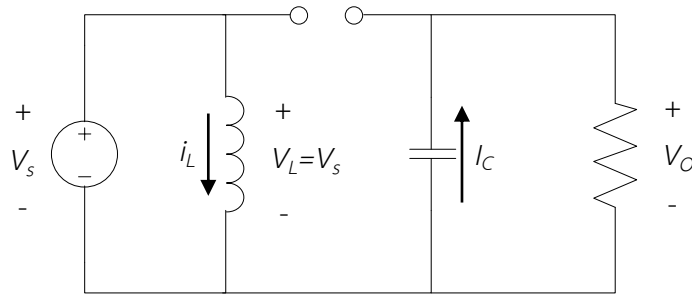
### 2.3.2 หลักการทำงานของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรนี้เพื่อลดหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ โดยเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 2.13 วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

### 2.3.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.14 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์และผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่ไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ดังสมการที่ (2.6)

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.6)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.7)$$

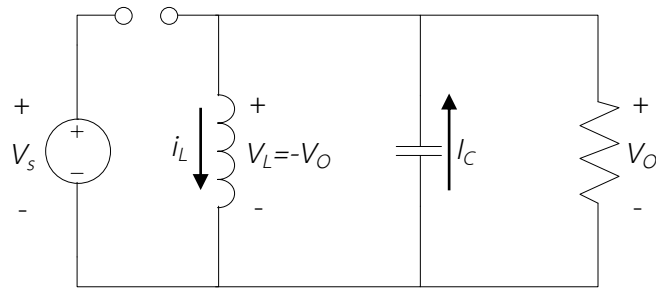
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.8)$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่และถือว่าการเพิ่มของกระแสเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.9)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.10)$$

โดยที่  $\Delta i_{L,on}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

### 2.3.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

จากรูปที่ 2.15 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใด ไดโอดจะถูกไบอัสให้นำกระแสส่งผลให้กระแสไหลที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำไหลอย่างต่อเนื่อง สมมติให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้างดสมการ (2.11)

$$V_o = v_L \quad (2.11)$$

$$V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

และอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเทียบกับเวลาดังสมการ (2.12)

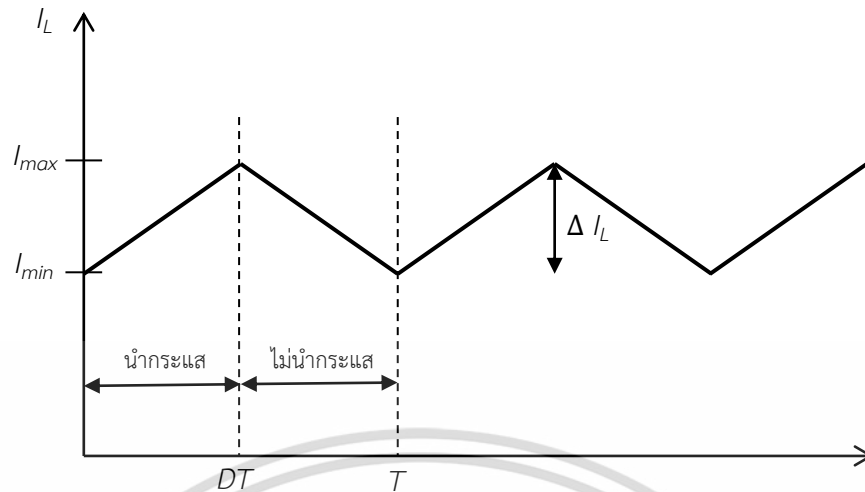
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_o}{L} \quad (2.12)$$

ขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1-D)T$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลงด้วยอัตราคงที่ โดยอาจจะถือได้ว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.16 ซึ่งสามารถคำนวณได้เป็นสมการที่ (2.13)

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.13)$$

ณ สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสสุทธิที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับศูนย์จากสมการที่ (2.10) และ (2.13) จะได้เป็นสมการที่ (2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.14)$$

$$\frac{V_S DT}{L} + \left(\frac{V_O}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.15)$$

$$V_S D + V_O(1-D) = 0$$

$$V_O(1-D) = -V_S D$$

$$\frac{V_O}{V_S} = -\frac{D}{1-D} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) อาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการที่ (2.17)

$$\frac{V_O}{V_S} = -(D) \left(\frac{1}{1-D}\right) \quad (2.17)$$

สังเกตได้ว่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์เท่ากับผลคูณของอัตราขยายแรงดันของวงจรบัคกับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ อย่างไรก็ตามแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า สามารถหาได้โดยวิธีง่ายๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกรวมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ (2.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.18)$$

จากสมการ (2.7) และ (2.11) สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็นสมการ (2.19) โดยยึดเครื่องหมาย  $V_o$  ตามรูป 2.15

$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.19)$$

และเมื่อแทนตัวแปรลงในสมการ (2.19) จะได้รูปสมการเช่นเดียวกับสมการที่ (2.17)

### 2.3.3 การเปรียบเทียบวงจรมอเตอร์-บูสต์กับวงจรมอเตอร์แรงดันกระแสตรงอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้ากับวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์และวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์จากการปรับค่าวัฏจักรการทำงาน ( $D$ ) จะเห็นผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 2.1 ซึ่งสังเกตได้ว่าทั้ง 3 วงจรมีอัตราการขยายแรงดันที่ไม่เท่ากัน โดยวงจรมอเตอร์จะมีอัตราการขยายระหว่างศูนย์ถึงหนึ่งและมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของอัตราการขยายแรงดันเป็นเชิงเส้น ในส่วนของวงจรมอเตอร์เป็นวงจรมอเตอร์ที่มีลักษณะการเพิ่มแรงดันที่ไม่เป็นเชิงเส้นถึงแม้ค่าวัฏจักรการทำงานจะเท่ากับศูนย์ก็ยังคงมีอัตราการขยายเท่ากับหนึ่งเท่าของแรงดันด้านเข้า ในทางกลับกันวงจรมอเตอร์-บูสต์ เมื่อค่าวัฏจักรการทำงานอยู่ระหว่าง 0-0.5 วงจรมอเตอร์-บูสต์จะทำหน้าที่เสมือนกับวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ลดระดับแรงดันด้านด้านออก แต่เมื่อค่าวัฏจักรการทำงานระหว่าง 0.5-1.0 วงจรมอเตอร์-บูสต์จะทำหน้าที่เสมือนกับวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

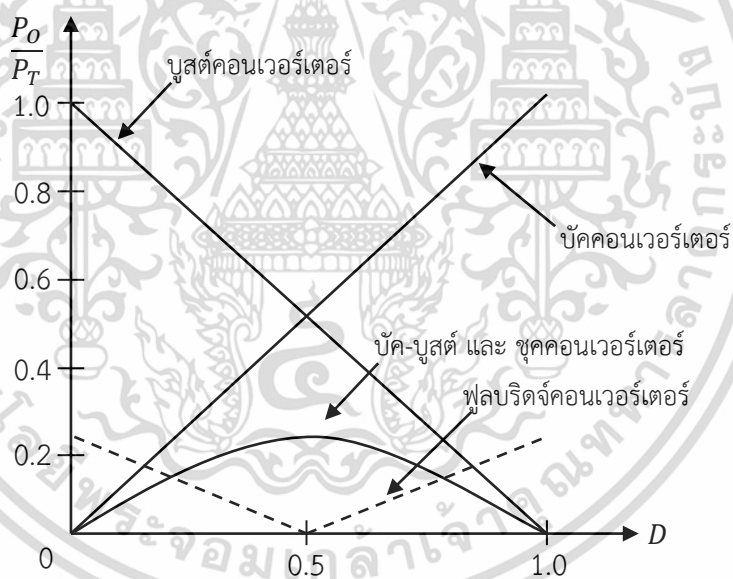
วงจรมอเตอร์-บูสต์มีแรงดันด้านออกซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเสมอ ค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 2.1 เป็นค่าที่คำนวณในทางทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะแตกต่างจากทฤษฎี เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์ต่างๆ และช่วงในการปรับค่าวัฏจักรการทำงานจะไม่สามารถปรับได้ 100% สำหรับวงจรมอเตอร์ และวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

สังเกตได้ว่าแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรมอเตอร์-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ จะไม่ขึ้นกับตัวต้านทานโหลดโดยตรง เมื่อช่วงสวิตช์นำกระแสพลังงานจะถูกเก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำ เมื่อถึงช่วงที่สวิตช์หยุดนำกระแส พลังงานในตัวเหนี่ยวนำจะถูกส่งผ่านไปยังโหลด ดังนั้นวงจรมอเตอร์-บูสต์คอนเวอร์เตอร์อาจเรียกได้ว่าเป็น คอนเวอร์เตอร์โดยอ้อม (indirect converter)

รูปที่ 2.17 เป็นอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตช์ซึ่งหมายถึงอัตรากำลังที่โหลด ( $P_o$ ) ต่อกำลังที่สวิตช์สามารถจ่ายได้ ( $P_T$ )

ตารางที่ 2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรบัค บูสต์ และวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

Duty Cycle	อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain: $V_O/V_S$ )		
	Buck	Boost	Buck-Boost
0.0	0.00	1.00	-0.00
0.1	0.10	1.10	-0.11
0.2	0.20	1.25	-0.25
0.3	0.30	1.43	-0.43
0.4	0.40	1.67	-0.67
0.5	0.50	2.00	-1.00
0.6	0.60	2.50	-1.50
0.7	0.70	3.33	-2.33
0.8	0.80	5.00	-4.00
0.9	0.90	10.00	-9.00
1.0	1.00	Infinity	-Infinity



รูปที่ 2.17 อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตช์ต่อวัฏจักรการทำงาน

### 2.3.4 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

สมมติให้การสูญเสียในวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์เป็นศูนย์ กำลังที่จ่ายจากแหล่งจ่ายกำลังจะเท่ากับกำลังที่โหลดได้รับเงื่อนไขนี้จะได้

$$P_S = P_O = \frac{V_O^2}{R} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_S = V_S I_S \quad (2.21)$$

$$V_S I_S = \frac{V_O^2}{R}$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในสมการที่ (2.22)

$$I_S = I_L D \quad (2.22)$$

$$V_S I_L D = \frac{V_O^2}{R}$$

$$I_L = \frac{V_O^2}{V_S R D} \quad (2.23)$$

$$V_O = V_S \left( \frac{-D}{1-D} \right)$$

$$V_O^2 = V_S^2 \left( \frac{D^2}{(1-D)^2} \right) \quad (2.24)$$

นำสมการ (2.24) แทนในสมการ (2.23)

$$I_L = \frac{V_S^2 \left( \frac{D^2}{(1-D)^2} \right)}{V_S R D}$$

$$I_L = \frac{V_S D}{R(1-D)^2} \quad (2.25)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จากการรวมค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในช่วงเวลาขณะนำกระแส ดังในสมการที่ (2.10) ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดจะเป็นดังสมการที่ (2.26) และ (2.27) ตามลำดับ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{L,max} = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s}{L} DT \right) \quad (2.26)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s}{L} DT \right) \quad (2.27)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่อง และมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องคือการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (2.28)

$$I_{L,min} = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s}{L} DT \right) = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{V_s D}{R(1-D)^2} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_s}{L} DT \right)$$

$$\frac{1}{R(1-D)^2} = \frac{1}{2Lf}$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.29)$$

สมการที่ (2.29) เป็นค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าวัฏจักรการทำงาน ( $D$ ) ความต้านทานโหลด ( $R$ ) และค่าความถี่สวิตชิง ( $f$ )

### 2.3.5 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะคล้ายกับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นการต่อขั้วของตัวเก็บประจุซึ่งจะตรงกันข้ามเพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า โดยการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากยอดถึงยอด ซึ่งหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ซึ่งจะได้สมการอธิบายค่าระลอกแรงดันไฟฟ้าด้านออกดังสมการ (2.30) และ (2.31)

$$\Delta Q = C \Delta V_o = I_o \Delta t_{on}$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o \Delta t_{on}}{C} = \frac{V_o DT}{RC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} \quad (2.30)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.31)$$

เมื่อจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าต้านออก จะทำได้โดยการลดค่า  $D$  หรือการเพิ่มค่าความต้านทานโหลด ค่าตัวเก็บประจุ หรือค่าความถี่สวิตช์ให้สูงขึ้น

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 2.18 ET-BASE dsPIC30F4011[7] เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller : MCU) ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประจำบอร์ด โดย dsPIC30F4011 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต จากค่าย Microchips ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้

โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F4011 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กเหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลัก โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆ ลักษณะตามต้องการ

คุณสมบัติของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F4011 มีดังนี้

### 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F4011

- มีหน่วยความจำ Flash 48
- มีหน่วยความจำ RAM ขนาด 2
- มีหน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1 สำหรับเก็บข้อมูลใช้งาน
- มีพอร์ต I/O ขนาด 29
- มี 16 Bit Timer/Counter จำนวน 5 ชุด
- มี Input Capture จำนวน 4 ช่อง
- มี Output Compare จำนวน 4 ช่อง
- มี ADC 10 /500 จำนวน 9 ช่อง
- มี PWM Motor Control จำนวน 6 ช่อง พร้อม Quadrature Encode Interface (QEI)

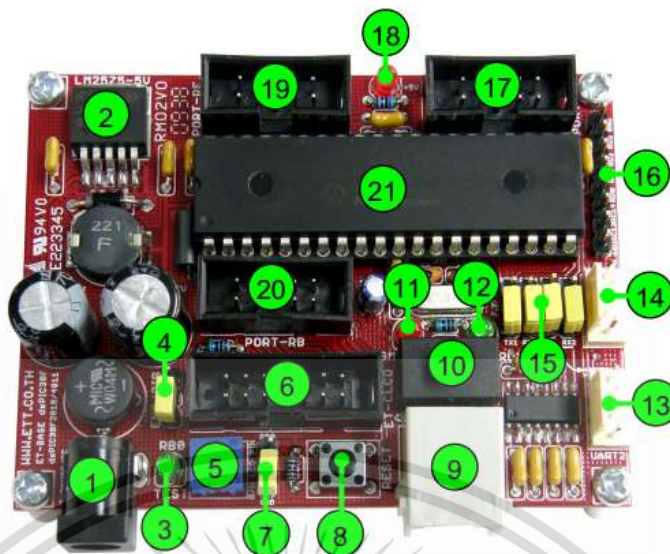
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มี UART จำนวน 2 ช่อง
  - มี SPI จำนวน 1 ช่อง และ มี I2C จำนวน 1 ช่อง
  - มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, PWM
2. ใช้ Crystal ความถี่ 7.3728 สามารถใช้ PLL คุณความถี่เพื่อ Run ความถี่ 29.4912 ได้
  3. มีพอร์ตสื่อสารอนุกรม UART แบบ RS232 จำนวน 2 ช่อง พร้อม Jumper สำหรับเลือกใช้งาน UART หรือ GPIO ได้ตามต้องการ โดยใช้ขั้วต่อ UART แบบ CPA-4 Pin มาตรฐาน อีทีที
  4. มีขั้ว ICSP มาตรฐาน ICD2 แบบ RJ11 สำหรับใช้ร่วมกับชุดพัฒนาโปรแกรมและ Debugger ที่รองรับการทำงานตามมาตรฐาน ICD2 ของ Microchips เช่น ICD2 หรือ Pickit2 ได้
  5. มี Switch สำหรับสลับสัญญาณ Program/Debug (PGM) และ ใช้งานปกติ (RUN) พร้อม LED แสดงโหมดการทำงานของบอร์ด
  6. มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ Header ขนาด 2x5 จำนวน 3 ชุด และ Header 1x8 Pin อีก 1 ชุด
  7. Header 14 Pin สำหรับ Character LCD พร้อม VR ปรับความสว่าง
  8. มี Switch Reset สำหรับสั่ง Reset การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในบอร์ด
  9. มี LED สำหรับทดสอบการทำงาน โดยใช้ RB0 ในการควบคุม พร้อม Jumper ตัดต่อสัญญาณ
  10. Power AC/DC Input พร้อม Regulate แบบ Switching เบอร์ LM2575 ขนาด 5 V/A ลดปัญหาความร้อนจากวงจร Regulate และ LED แสดงสถานะแหล่งจ่าย Power

MCLR	1	40	AVdd
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	39	AVss
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	38	PWM1L/RE0
AN2/SS1/CN4/RB2	4	37	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	36	PWM2L/RE2
AN4/QEA/IC7/CN6/RB4	6	35	PWM2H/RE3
AN5/QEB/IC8/CN7/RB5	7	34	PWM3L/RE4
AN6/OCFA/RB6	8	33	PWM3H/RE5
AN7/RB7	9	32	Vdd
AN8/RB8	10	31	Vss
Vdd	11	30	C1RX/RF0
Vss	12	29	C1TX/RF1
OSC1/CLKIN	13	28	U2RX/CN17/RF4
OSC2/CLKO/RC15	14	27	U2TX/CN18/RF5
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	15	26	PGC/EMUC/U1RX/SDI1/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	16	25	PGD/EMUC/U1TX/SDO1/SCU/RF3
FLTA/INT0/RE8	17	24	SCK1/RF6
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	18	23	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0
OC4/RD3	19	22	OC3/RD2
Vss	20	21	Vdd

รูปที่ 2.18 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ET-BASE dsPIC30F4011

โครงสร้างบอร์ด ET-BASE dsPIC30F4011 ดังรูปที่ 2.19 มีส่วนประกอบดังนี้

1. ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรของบอร์ด ใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 7-20 VAC/DC
2. IC Regulate แบบ Switching ขนาด 5V/1A
3. LED TEST สำหรับทดสอบการทำงานของบอร์ด โดยควบคุมจาก RB0
4. Jumper สำหรับตัดต่อสัญญาณ RB0 กับ LED TEST
5. VR ปรับค่าสำหรับใช้ปรับความสว่างของหน้าจอแสดงผล LCD
6. ขั้วต่อ 14 PIN IDE สำหรับเชื่อมต่อกับ LCD แบบ Character
7. Jumper สำหรับเลือกรูปแบบการควบคุมขา RW ของ LCD
8. สวิตช์ Reset สำหรับ Reset การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่ออยู่ในโหมด Run
9. ขั้วต่อ ICD2 สำหรับใช้เชื่อมต่อกับเครื่องโปรแกรมและดีบั๊กตามมาตรฐาน ICD2
10. สวิตช์สำหรับเลือกโหมดการทำงานระหว่าง Run (RUN) หรือ Program (PGM)
11. LED สีแดง แสดงสถานะ PGM เมื่อบอร์ดทำงานใน Program Mode
12. LED สีเขียว แสดงสถานะ RUN เมื่อบอร์ดทำงานใน Run Mode
13. ขั้วต่อ UART2 โดยเป็นสัญญาณแบบ RS232 โดยใช้ Pin ของ RF4 (RX2) และ RF5 (TX2) เป็นสัญญาณเชื่อมต่อ
14. ขั้วต่อ UART1 โดยเป็นสัญญาณแบบ RS232 ซึ่งใช้ Pin ของ RC13 (TX1) และ RC14 (RX1) เป็นสัญญาณเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Jumper สำหรับเลือกการเชื่อมต่อสัญญาณ RC13, RC14, RF4 และ RF5 จะใช้ขาสัญญาณดังกล่าว ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรับส่งของ RS232 หรือ GPIO สำหรับใช้งานทั่วไป
16. ขั้วต่อสัญญาณ RC13, RC14, RD0, RD1, RD2 และ RD3 สำหรับใช้งาน
17. ขั้วต่อสัญญาณ Port-RF มี 7 บิต คือ RF [0...6]
18. LED สำหรับแสดงสถานะ ของแหล่งจ่ายไฟ +5V ของบอร์ด
19. ขั้วต่อสัญญาณ Port-RE ซึ่งจะมี 7 บิต คือ RE [0...5 และ 8]
20. ขั้วต่อสัญญาณ Port-RB มี 8 บิต คือ RB [0..7]
21. ไมโครคอนโทรลเลอร์ประจำบอร์ด

## 2.5 ET-USB FLASH DRIVE

รูปที่ 2.20 ET-USB FLASH DRIVE[8] คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านเขียนไฟล์ข้อมูล ลบและสร้างไฟล์ ที่เก็บอยู่ใน FLASH DRIVE โดยใช้วิธีการส่ง Command ต่างๆ ผ่านทาง Serial Port ไปให้ ET-USB FLASH DRIVE เพื่อให้ติดต่อไปยังตัวเก็บข้อมูล Flash Drive โดยสามารถใช้งานร่วมกับ PC ผ่านทาง Port RS232 โดยใช้โปรแกรม HyperTerminal หรือ ProComm หรือโปรแกรมอื่นๆ ที่สามารถสื่อสารผ่านทาง RS232 เป็นตัวกลางในการรับ ส่งคำสั่งและข้อมูลต่างๆ รวมทั้งแสดงผลการอ่านหรือการเขียนข้อมูลให้กับผู้ใช้ นอกจากนี้ก็ยังสามารถต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์แทน PC ได้ โดยจะสื่อสารผ่านทาง UART Port ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยคุณสมบัติของ ET-USB FLASH DRIVE มีดังนี้

1. สามารถติดต่อกับตัวเก็บข้อมูล Flash Drive ที่มีโครงสร้างไฟล์แบบ FAT12, FAT16 หรือ FAT32
2. รองรับชื่อไฟล์ไม่เกิน 8 ตัวอักษร นามสกุล 3 ตัวอักษร เช่น A1234567.txt
3. ในระบบ FAT32 จะไม่รองรับชื่อไฟล์แบบยาว
4. ควบคุมการอ่านเขียน Flash Drive โดยใช้การส่ง Command ผ่านทาง RS232
5. สามารถเลือก Baud Rate ในการติดต่อสื่อสารทาง RS232
6. สามารถส่ง Command โดยใช้ PC หรือไมโครคอนโทรลเลอร์
7. สามารถสร้างและลบไฟล์ หรือ Directory ใน Flash Drive
8. สามารถกำหนดจำนวน Byte ของข้อมูลที่จะทำการอ่านหรือเขียนจากไฟล์ที่อยู่ใน Flash Drive
9. สามารถกำหนดตำแหน่งที่จะอ่านข้อมูลจากไฟล์หรือเขียนข้อมูลลงไฟล์ที่อยู่ใน Flash Drive
10. สามารถอ่านข้อมูลออกมาที่เดียวทั้งไฟล์ จากไฟล์ที่อยู่ใน Flash Drive
11. หลังจากปิดไฟล์แล้วสามารถเปิดไฟล์เดิมขึ้นมาทำการเขียนข้อมูลต่อจากของเดิมได้โดยข้อมูลเก่ายังอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ET-USB FLASH DRIVE

12. สามารถเปลี่ยนชื่อไฟล์หรือชื่อ Directory ใหม่
13. สามารถเข้าไปอ่าน เขียน สร้างหรือลบไฟล์ ที่อยู่ใน Directory ย่อย
14. สามารถเลือกรูปแบบการส่งคำสั่งได้ 2 แบบ คือ ส่งในรูปแบบอักขระ ASCII (Extended Mode) หรือส่งในรูปแบบ Hex เลขฐาน 16 (Short Mode)

## 2.6 เซ็นเซอร์แสง

เซ็นเซอร์แสง (Optical Sensor) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานหรือการนำไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเองได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบซึ่งค่าความเข้มแสงจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป โดยชนิดของเซ็นเซอร์แสงมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ดังนี้

### 2.6.1 ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง

รูปที่ 2.21 ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง หรือ Light Dependent Resistor (LDR) เป็นเซ็นเซอร์แสงชนิดหนึ่งที่ใช้ตรวจจับความเข้มแสงโดยพื้นฐานองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ LDR นั้นทำมาจากสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์หรือแคดเมียมซัลไฟด์นำมาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง ฉะนั้นหากมีความเข้มแสงมาตกกระทบน้อยจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานสูง และในทางกลับกันหากมีความเข้มแสงมาตกกระทบมากค่าความต้านทานจะน้อยลง



รูปที่ 2.21 ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 Photo Diode



รูปที่ 2.23 Photo Transistor

### 2.6.2 Photo Diode และ Photo Transistor

รูปที่ 2.22 Photo Diode และ รูปที่ 2.23 Photo Transistor มีหลักการทำงานเมื่อมีความเข้มแสงตกกระทบมาก จะทำให้สามารถนำกระแสได้มาก และในทางกลับกันหากมีความเข้มแสงมาตกกระทบน้อยจะนำกระแสได้น้อยซึ่งการทำงานมีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวต้านทานแปรค่าตามแสง ในหัวข้อที่ 2.6.1 แต่ทว่าจะมีค่าความเข้มแสง ณ จุดๆ หนึ่งเมื่อน้อยจนเกินไปจะทำให้ตัวเซ็นเซอร์ไม่นำกระแสเลย และในการใช้งานจำเป็นต้องต่อในลักษณะไบอัสกลับจึงจะสามารถใช้งานได้

### 2.6.3 Infrared Sensor

รูปที่ 2.24 Infrared Sensor หรือ IR Sensor คืออุปกรณ์ที่ Photo Diode หรือ Photo Transistor มารวมเข้ากับวงจรควบคุมภายในเพื่อใช้สำหรับความถี่สูงโดยเฉพาะ IR Sensor จะตอบสนองกับแสงอินฟราเรด (Infrared) เท่านั้น ใช้งานร่วมกับ LED อินฟราเรด นิยมใช้ส่งข้อมูลที่อยู่ในระยะไกล เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน IR Sersor จำพวก โทรทัศน์ เครื่องเล่น DVD หรือวิทยุในรถยนต์ กล้องรับดาวเทียม เป็นต้น



รูปที่ 2.24 Infrared Diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 Reflective Optical Sensor

#### 2.6.4 Reflective Optical Sensor

รูปที่ 2.25 Reflective Optical Sensor คืออุปกรณ์ที่นำ Photo Transistor หรือ Photo Diode มารวมกับ LED อินฟราเรด เพื่อใช้ในการตรวจจับการสะท้อนแสง หรือระยะความใกล้ของวัตถุ หลักการคือเมื่อมีแสงไปตกกระทบกับวัตถุใดๆ วัตถุนั้นจะสะท้อนแสงกลับมาที่ Photo Diode หรือ Photo Transistor ตัวอย่างที่นำไปใช้งานจริงก็เช่น หุ่นยนต์วิ่งตามเส้นอัตโนมัติ

## บทที่ 3

# หลักการงานและการออกแบบ

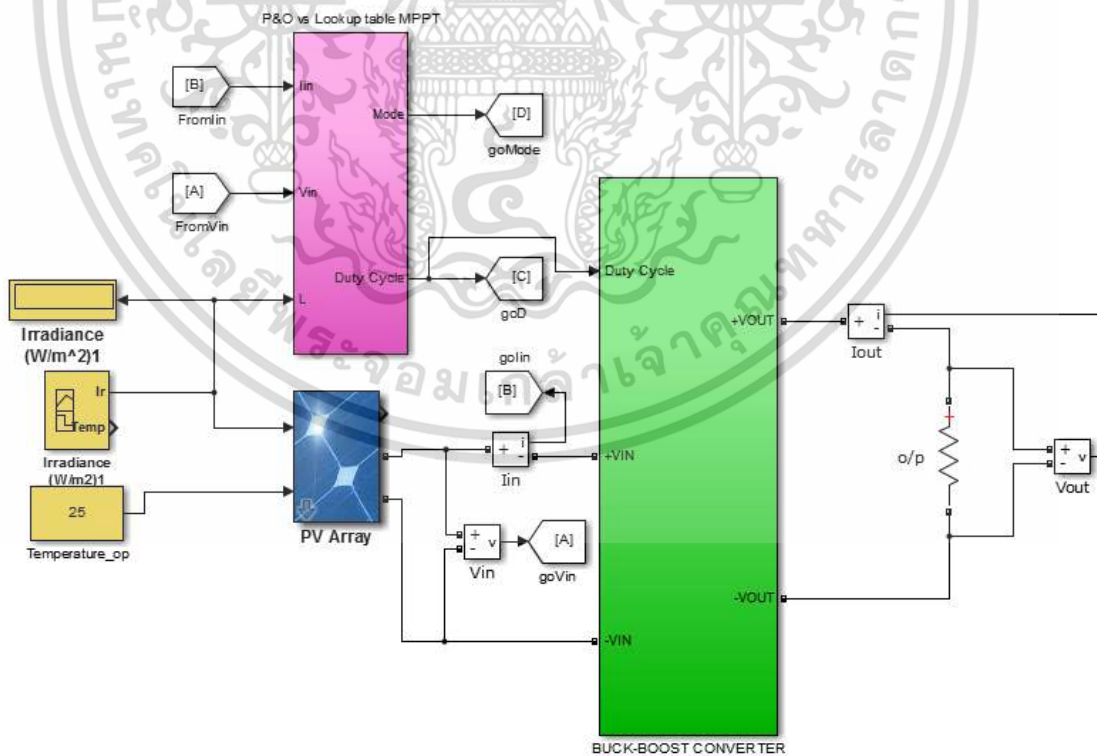
### 3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการงานและการออกแบบงานซึ่งเรียงลำดับตั้งแต่การออกแบบโดยใช้การจำลองผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink ไปจนถึงการสร้างอุปกรณ์จริง โดยการออกแบบอุปกรณ์จริงเกือบทั้งหมดจะยึดถือค่าคุณลักษณะต่างๆ ในโปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งได้ทำการจำลองไว้ก่อนแล้ว

### 3.2 ภาพรวมของวงจรในโปรแกรม MATLAB Simulink

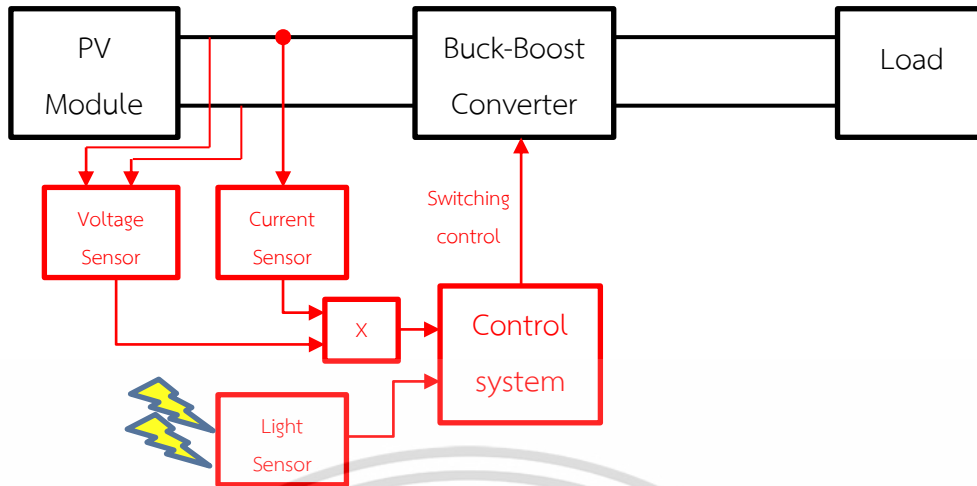
การออกแบบการจำลองในโปรแกรมนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับวิธีการแบบใหม่ว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถพัฒนาและสร้างเป็นอุปกรณ์จริงได้หรือไม่

ในส่วนของการออกแบบเพื่อให้ได้การติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบใหม่โดยการผสมผสานวิธีการรบกวนและสังเกตผนวกกับการอ่านค่าจากตาราง จึงได้ทำการออกแบบจำลองโดยมีส่วนประกอบ ดังนี้ วงจรกำลังบัค-บูสต์ (Buck-Boost Converter) วงจรควบคุม (P&O vs Look up table MPPT) และแผงโซลาร์เซลล์ (PV Array) ดังรูปที่ 3.1 หรือสามารถอธิบายโดยใช้บล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 วงจรโดยรวมใน MATLAB Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

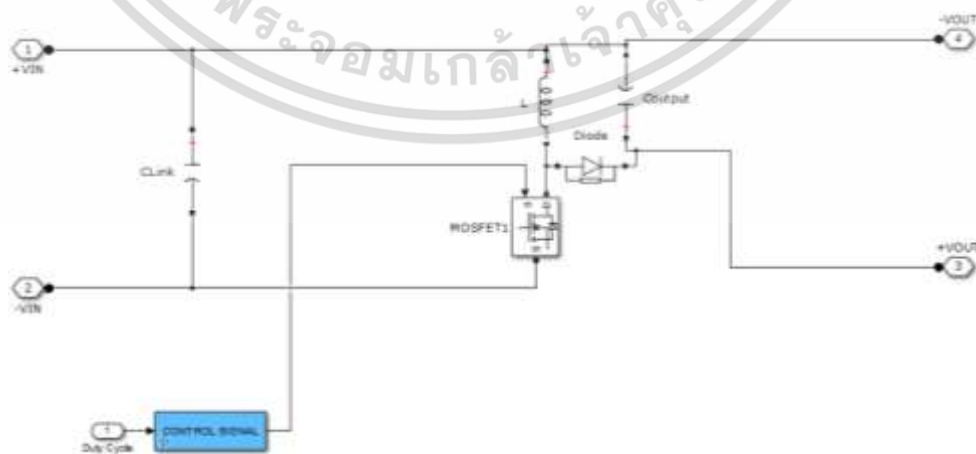


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมโดยรวม

### 3.2.1 ภาควงจรกำลัง

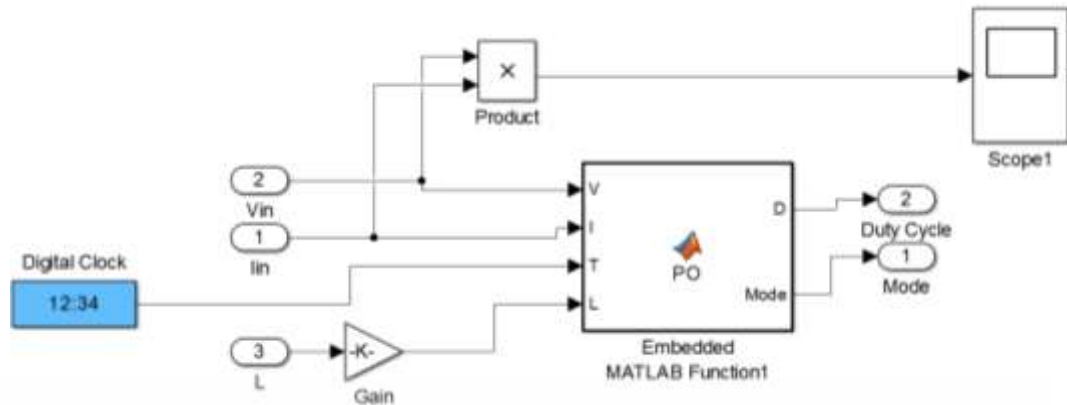
รูปที่ 3.3 วงจรบัค-บูสต์ที่อยู่ภายในบล็อก Buck-Boost Converter ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถเพิ่มและลดความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output) ได้เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input) จึงเป็นวงจรหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์ความต้องการในงานวิจัยนี้ได้

วงจรภาคกำลังหลักประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (CLink) ขนาด 56  $\mu\text{F}$  ทำหน้าที่เสมือนตัวเชื่อมเพื่อส่งพลังงานระหว่างโซลาร์เซลล์กับวงจร ส่วนของตัวเหนี่ยวนำ (L) มีขนาด 135 mH (การคำนวณได้ถูกกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.1) ทำหน้าที่ในการสะสมพลังงานและส่งพลังงานต่อไปยังอุปกรณ์อื่นๆ อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งใช้เป็น MOSFET ทำหน้าที่เสมือนสวิตซ์ซึ่งปรับวัฏจักรการทำงานเพื่อควบคุมแรงดันและกระแสด้านออกโดยทำงานที่ความถี่ 30 kHz และในส่วนของตัวเก็บประจุ (Coutput) ที่ขนานกับโหลด ขนาด 1 mF ช่วยให้แรงดันด้านออกที่กระเพื่อมลดลงจากการสวิตซ์ของ MOSFET



รูปที่ 3.3 ภายในบล็อก Buck-Boost Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

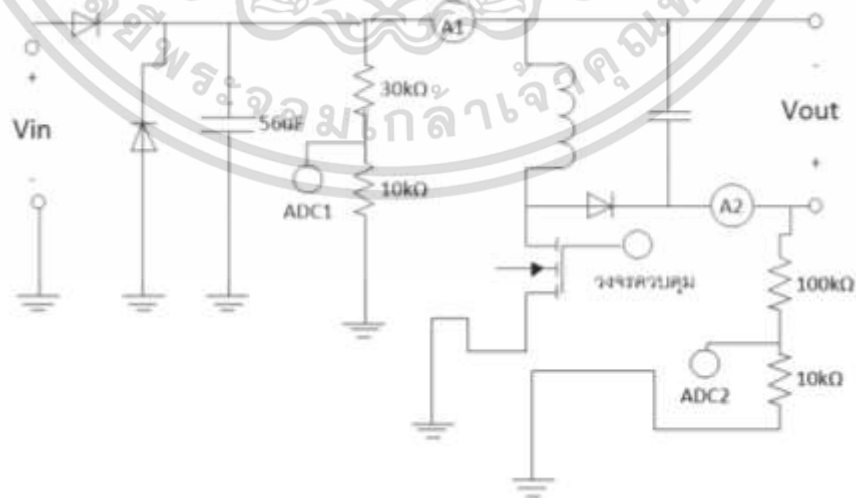


รูปที่ 3.4 ภายในบล็อก P&O vs. Look up table MPPT

### 3.2.2 ภาควงจรควบคุม

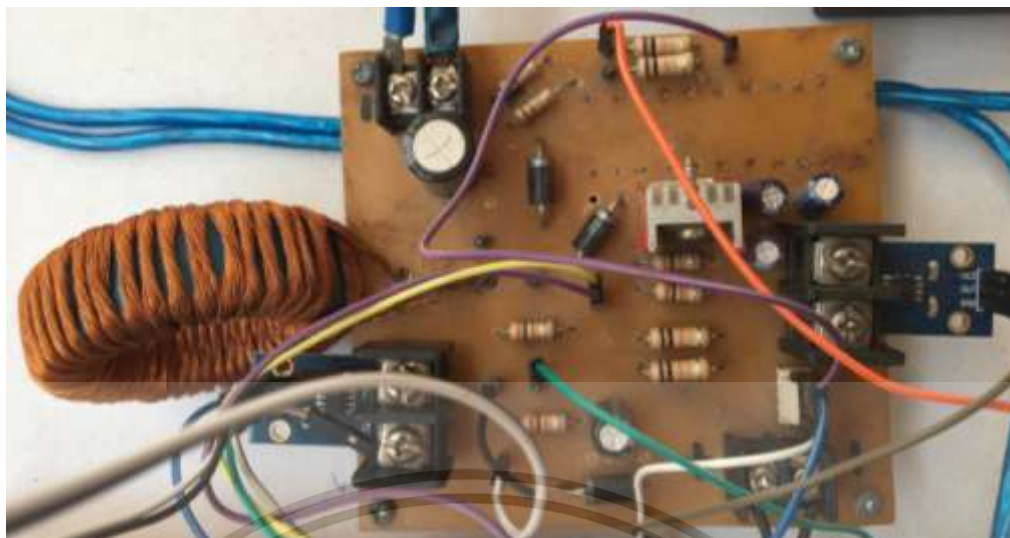
รูปที่ 3.4 ส่วนภาควงจรควบคุมได้ใช้การเขียนโปรแกรม Embedded MATLAB Function1 ซึ่งอยู่ภายในบล็อก P&O vs. Lookup table MPPT เพื่อบังคับให้โซล่าเซลล์มีจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับวิธีการอ่านค่าจากตารางซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.4 เรื่องแนวคิดและวิธีการควบคุม ในส่วนของ Embedded MATLAB Function มี 4 Inputs คือ

- กระแสจากโซล่าเซลล์ (I) หน่วย A
- แรงดันตกคร่อมโซล่าเซลล์ (V) หน่วย V
- ความถี่สัญญาณ (clock) ไม่มีหน่วย
- ความเข้มแสงอาทิตย์ (L) หน่วย  $W/m^2$



รูปที่ 3.5 การออกแบบวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรกำลังของจริง

และ 2 Outputs คือ

- วัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle) ไม่มีหน่วย มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 (0-100%)
- โหมดการทำงาน (Mode) ไม่มีหน่วย มีค่าเป็นลอจิก โดยลอจิก 1 โหมดอ่านค่าจากตาราง ลอจิก 0 โหมดครบวงจรและสังเกต

### 3.3 ภาพรวมการทำงานของวงจรจริง

จากการจำลองผลการทำงานจนมั่นใจได้ว่าจะสามารถทำให้อยู่ในรูปของจริงได้ ทางผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการสร้างอุปกรณ์จริงขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง โดยอุปกรณ์และวงจรจริงประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจรบัค-บูสต์ทำหน้าที่ควบคุมจุดการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ ณ จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด และสุดท้ายป้องกันพลังงานเข้าสู่โหลด ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นส่วนภาควงจรกำลัง ในส่วนของภาคควบคุมประกอบด้วยชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น dsPIC30F4011 รวมไปถึงเซนเซอร์แรงดันกระแส และแสงตามลำดับ

#### 3.3.1 ภาควงจรกำลัง

วงจรกำลังจริงได้ยึดค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรมจำลอง MATLAB Simulink ดังรูปที่ 3.5 และเมื่อทำการสร้างบอร์ดวงจรภาคกำลังจริงขึ้นมาได้ดังรูปที่ 3.6

วงจรกำลังจริงถูกออกแบบมาเพื่อรองรับแรงดันขาเข้าและขาออกได้ไม่เกิน 20 V และ 55 V ตามลำดับ (จากขอบเขตและข้อกำหนด) ซึ่งรายละเอียดของวงจรประกอบด้วยไดโอดต่ออนุกรมกับ เทอมินอลบล็อก (Terminal Block) ขาเข้าซึ่งช่วยป้องกันการป้อนแรงดันไฟฟ้าผิดขั้วส่งผลให้วงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับความเสียหาย ถัดมาเป็นตัวเก็บประจุซึ่งช่วยให้แรงดันขาเข้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลัน ในส่วนของอุปกรณ์สวิตชิงได้ใช้ MOSFET เบอร์ IRF530N (N Channel) ทำงานที่ความถี่ 30 kHz ซึ่งรายละเอียดในการควบคุมจะกล่าวในหัวข้อวงจรควบคุมอีกทีหนึ่ง

ในการออกแบบวงจรบัค-บูสต์ของวงจรกำลังสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่สามารถทำให้กระแสมีความต่อเนื่องได้ตลอดเวลาและครอบคลุมในทุกเงื่อนไข ดังสมการที่ (2.29) ซึ่งได้กล่าวไว้ในทฤษฎีและหลักการในบทที่ 2 ดังนี้

$$L_{min} = \frac{(1 - D)^2 R}{2f}$$

สมมติเงื่อนไขค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่มีขนาดใหญ่พอจะครอบคลุมทุกกรณีในการทำงาน โดยกำหนดให้ค่า  $D = 0.1$  ,  $R = 10 \text{ k}\Omega$  และ  $f = 30 \text{ kHz}$  (ค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้) ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำขั้นต่ำที่สุดที่สามารถใช้ได้คือ 135 mH แต่ทว่า ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้จริงในวงจรคือ 186 mH ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าค่าเหนี่ยวนำขั้นต่ำที่ได้คำนวณไว้

### 3.3.2 ภาควงจรควบคุม

ภาควงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิงให้ตัววงจรภาคกำลังสามารถทำงาน ณ จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้ โดยการควบคุมทั้งหมดมาจากการสั่งการของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

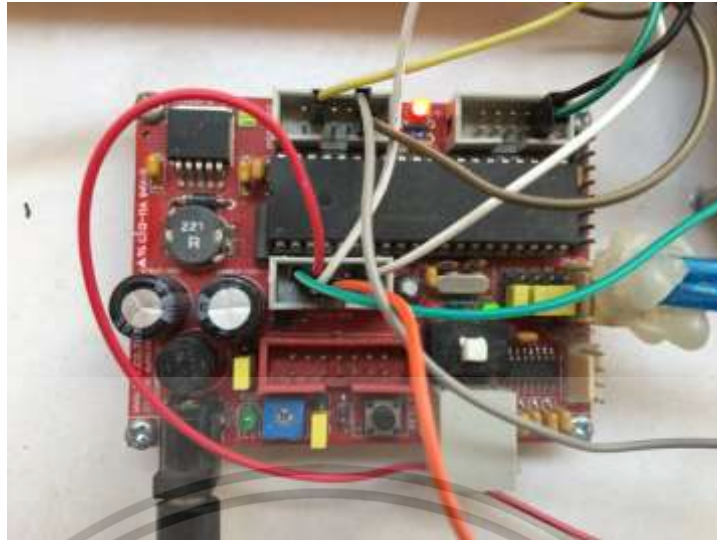
รูปที่ 3.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 และตัวบอร์ดสำเร็จรูป สามารถรับข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำมาประมวลผลในการสั่งการต่อไปได้โดยผ่านโมดูลที่ชื่อว่า Analog-to-digital converter (ADC) ซึ่งโมดูลนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อก (Analog) เป็นดิจิตอล (Digital) โดยอุปกรณ์นี้จะตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการต่อสายเข้ามาที่ Port B จากนั้นจะแปลงค่าต่างๆ เป็นค่านับวัดในระบบดิจิตอลตามระดับที่กำหนดด้วยค่า Bit ที่ใช้ เรียกการแปลงค่านี้ว่า Digitization

ในงานวิจัยนี้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าแรงดันมีการรับค่า Input ทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า แรงดันไฟฟ้าขาออก กระแสไฟฟ้าขาเข้า กระแสไฟฟ้าขาออก และค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน (ของความเข้มแสง) โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.2.1 การวัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและออก

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถรับค่า Input ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วงเพียงแค่ว่า 0-5 V จากรูปที่ 3.5 จะสังเกตได้ว่าการต่อค่าความต้านทาน 30 k $\Omega$  กับ 10 k $\Omega$  และ 100 k $\Omega$  กับ 10 k $\Omega$  ตามลำดับ เพื่อใช้ในการแบ่งแรงดันไฟฟ้าให้ไม่เกิน 5 V

ก่อนทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า Input ให้แก่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีวิธีการคำนวณหา ค่าแรงดันไฟฟ้างดังสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.7 dsPIC30F4011 พร้อมบอร์ดสำเร็จรูป

$$V_{in,adc} = V_{real} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

โดยที่  $V_{in,adc}$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับขา ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วย V  
 $V_{real}$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าจริงของวงจรกำลังหลัก ณ จุดที่วัดนั้นๆ เมื่อเทียบกับกราวด์ของวงจร หน่วย V  
 $R_1$  คือ ค่าความต้านทานที่ต่อขนานกับขา ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วย  $\Omega$   
 $R_2$  คือ ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับ  $R_1$  เพื่อใช้ในการแบ่งแรงดันไฟฟ้า หน่วย  $\Omega$

เมื่อกำหนดว่า  $V_{in,micro}$  ไม่สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิน 5 V ได้ จากนั้นทำการคำนวณย้อนกลับหาค่า  $V_{real}$  เพื่อทราบค่าแรงดันจริงสูงสุด ณ จุดนั้น ได้ดังสมการ (3.2)

$$V_{real} = V_{in,micro} \times \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (3.2)$$

คำนวณหาศักย์แรงดันไฟฟ้าจริงที่จุดแบ่งแรงดันที่ 1 ก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ( $V_{real,adc1}$ ) เทียบกับกราวด์ของวงจร โดยที่  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  ,  $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$  และ  $V_{in,micro} = 5 \text{ V}$  จะได้  $V_{real,adc1} = 20 \text{ V}$  และคำนวณหาศักย์แรงดันไฟฟ้าจริงที่จุดแบ่งแรงดันที่ 2 ก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ( $V_{real,adc2}$ ) เทียบกับกราวด์ของวงจร โดยที่  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$  และ  $V_{in,micro} = 5 \text{ V}$  จะได้  $V_{real,adc2} = 55 \text{ V}$

ดังนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าทั้ง  $V_{real,adc1}$  และ  $V_{real,adc2}$  จึงเป็นค่าแรงดันสูงสุด ณ จุดขาเข้าและขาออก โดยมีค่าแรงดันอยู่ที่ 20 V และ 55 V ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกราวด์ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.2 การวัดกระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก

โดยทั่วไปแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ไม่สามารถรับค่า Input ที่เป็นกระแสไฟฟ้าได้ แต่สามารถรับค่า Input ที่เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าได้เท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการวัดกระแสไฟฟ้าและแปลงค่านั้นให้อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้าได้ ซึ่งอุปกรณ์นั้นคือ เซนเซอร์วัดกระแส (Current Sensor)

เซนเซอร์วัดกระแสที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นบอร์ดขนาดเล็กสำเร็จรูปของอาคูโนและใช้ IC ในการวัดกระแสเบอร์ ACS712 ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดกระแสแบบฮอลล์เอฟเฟค (Hall Effect) และมีพิสัยการวัดกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่  $-5\text{ A}$  จนถึง  $5\text{ A}$  โดยมีหลักการวัดค่าจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าขณะที่มีกระแสไหลผ่านตัวเซนเซอร์ ซึ่งแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นตัวไปเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ Output ของตัวเซนเซอร์นั่นเอง จากนั้นจึงทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า Output ของตัวเซนเซอร์ไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า Input ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการรับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้นั้น แต่ทว่าค่าที่ป้อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่ากระแสจริงที่วัดได้ โดยตัวเซนเซอร์นี้มีค่า offset ที่  $2.5\text{ V}$  ขณะที่กระแสไฟฟ้ามามีค่าเป็น  $0\text{ A}$  และมีค่าความไว (output sensitivity) ที่  $185\text{ mV/A}$  ดังนั้นจึงสามารถคำนวณย้อนกลับหาค่ากระแสไฟฟ้าจริงได้จากสมการที่ (3.3)

$$I_{real} = (V_{o,sensor} - 2.5) \times \frac{1}{185 \times 10^{-3}}$$

$$I_{real} = (V_{o,sensor} - 2.5) \times \frac{1000}{185} \quad (3.3)$$

โดยที่  $I_{real}$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าจริงจากวงจร หน่วย A

$V_{o,sensor}$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์ หน่วย V

เพื่อความสะดวกในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการติดตั้งจึงได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์บอร์ดสำเร็จรูปนี้ลงในบอร์ดวงจรกำลังหลักดังรูปที่ 3.9 เพื่อลดการใช้สายไฟระหว่างเซนเซอร์กับบอร์ดวงจรหลัก



รูปที่ 3.8 IC เซนเซอร์กระแส ACS712 พร้อมบอร์ดขนาดเล็กสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

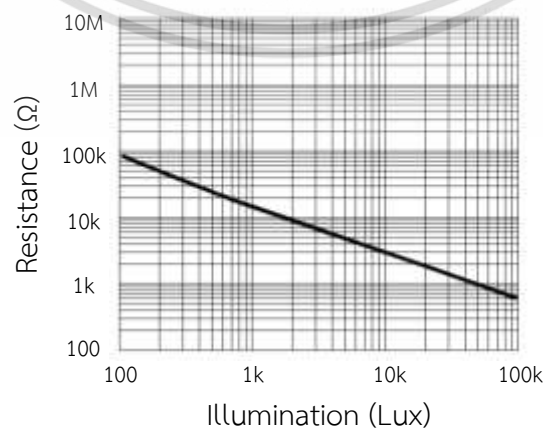


รูปที่ 3.9 การติดตั้งบอร์ดเซนเซอร์กระแสกับบอร์ดวงจรหลัก

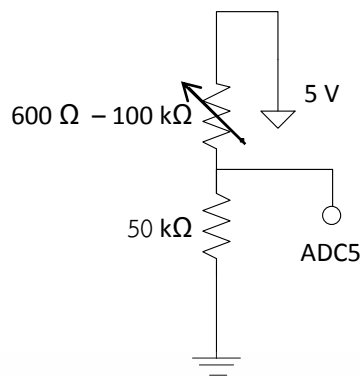
### 3.3.2.3 การวัดค่าความเข้มแสง

เรื่องการวัดค่าความเข้มแสงเป็นปัญหาหนึ่งของงานวิจัยนี้ โดยการวัดค่าความเข้มแสงในโปรแกรมจำลอง MATLAB Simulink กับความเป็นจริงนั้นแตกต่างกันมาก การใช้อุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับความเข้มแสงเป็นเรื่องยากที่จะนำมาใช้จริงเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาสูงและไม่มี Output ที่เชื่อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ฉะนั้นในการทดลองงานวิจัยนี้จึงได้เปลี่ยนวิธีการวัดความเข้มแสงด้วยการใช้ตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสงแทนการวัดความเข้มแสงโดยตรง ถึงแม้ว่าตัวต้านทานแปรค่าตามแสงจะไม่สามารถทำให้ผู้ใช้งานทราบค่าความเข้มแสงจริงๆ ได้ แต่ก็ทำทราบความแตกต่างของความเข้มแสงเหล่านั้นได้ด้วยความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามชื่อของตัวมัน

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เซนเซอร์แสงชนิดตัวต้านทานแปรค่าตามแสงเบอร์ KE-10720 ซึ่งมีความต้านทานอยู่ที่ 600  $\Omega$  - 100 k $\Omega$  ณ ค่าความเข้มแสงระหว่าง 100 Lux – 100 kLux โดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นจึงนำค่าความต้านทานแปรค่าตามแสงนี้อนุกรมกับความต้านทาน 50 k $\Omega$  และป้อนแหล่งจ่ายไฟ 5 V จากนั้นจึงวัดค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทานที่คร่อม 50 k $\Omega$  เข้า ADC ดังรูปที่ 3.11 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสงของตัวต้านทานแปรค่าตามแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ระบุชื่อผู้แต่งค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรสำหรับการวัดค่าความเข้มแสง

### 3.4 แนวคิดและวิธีการควบคุม

การใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้คุ้มค่าที่สุด คือ การทำให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดเท่าที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถกระทำได้ ณ ค่าความเข้มแสงนั้นๆ ฉะนั้นนอกจากจะมีวงจรไฟฟ้าภาคกำลังและควบคุมแล้ว ยังจำเป็นต้องมีวิธีการควบคุมที่ทำให้แผงโซลาร์เซลล์จ่ายกำลังงาน

#### 3.4.1 โหมดการอ่านค่าจากตาราง

เป็นวิธีการควบคุมให้โซลาร์เซลล์ทำงาน ณ จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดโดยใช้ประโยชน์จากการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต โหมดการอ่านค่าจากตารางจะทำงานโดยใช้วิธีการอ่านค่าจะนำค่าความเข้มแสงจริงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความเข้มแสงทุกตำแหน่งในตารางและทำการเลือกตำแหน่งที่มีค่าใกล้เคียงที่สุด จากนั้นตรวจสอบค่าความเข้มแสงจริงกับค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุดว่ามีค่ามากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับ ซึ่งระบบจะทำงานในโหมดการอ่านค่าจากตารางก็ต่อเมื่อเงื่อนไขเพียง 1 ใน 3 กรณีนี้ เป็นจริง

1. เมื่อค่าแสงจริงที่วัดได้มากกว่าค่าแสงในตารางที่ใกล้เคียงที่สุด ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และมีค่าแสงในตำแหน่งถัดไปในตาราง
2. เมื่อค่าแสงจริงที่วัดได้น้อยกว่าค่าแสงในตารางที่ใกล้เคียงที่สุด ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และมีค่าแสงในตำแหน่งก่อนหน้าในตาราง
3. เมื่อค่าแสงจริงที่วัดได้เท่ากับค่าแสงในตาราง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และมีค่าแสงในตำแหน่งก่อนหน้าและตำแหน่งถัดไป

ในกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงมากกว่าค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งถัดไป (กรณีที่ 1 เป็นจริง) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.12 จากนั้นคำนวณหาค่าของวัฏจักรการทำงานไปควบคุมอุปกรณ์สวิตช์โดยใช้การคำนวณแบบบัญญัติไตรยางศ์ (Rule of Three) ดังสมการที่ (3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = Dutytable_c + \frac{(Dutytable_{c+1} - Dutytable_c)(L - Lutable_c)}{Lutable_{c+1} - Lutable_c} \quad (3.4)$$

โดยที่  $Dutytable_c$  คือ ค่าวัฏจักรการทำงานในตาราง ตำแหน่งที่  $c$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตรงกับตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงในตารางมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงจริงที่สุด

$Lutable_c$  คือ ค่าความเข้มแสงในตาราง ตำแหน่งที่  $c$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงในตารางมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงจริงที่สุด

$Dutytable_{c+1}$  คือ ค่าวัฏจักรการทำงานในตาราง ตำแหน่งที่  $c+1$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ถัดไปจากตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงในตารางมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงจริงที่สุด

$Lutable_{c+1}$  คือ ค่าความเข้มแสงในตาราง ตำแหน่งที่  $c+1$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ถัดไปจากตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงในตารางมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงจริงที่สุด

$L$  คือ ค่าความเข้มแสงจริง หน่วย วัดต่อตารางเมตร

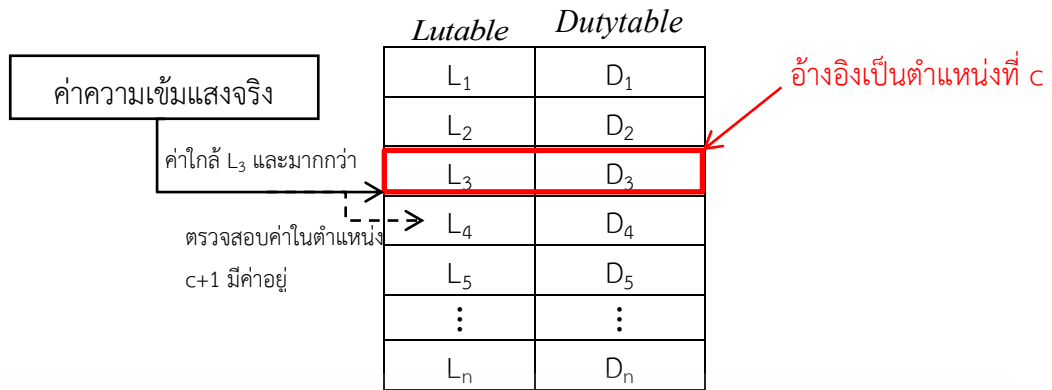
$D$  คือ ค่าวัฏจักรการทำงานที่ใช้ขับอุปกรณ์สวิตช์

ในกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงน้อยกว่าค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งก่อนหน้า (กรณีที่ 2 เป็นจริง) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.13 จากนั้นคำนวณหาค่าของวัฏจักรการทำงานคล้ายกับกรณีแรกโดยใช้ดังสมการที่ (3.5)

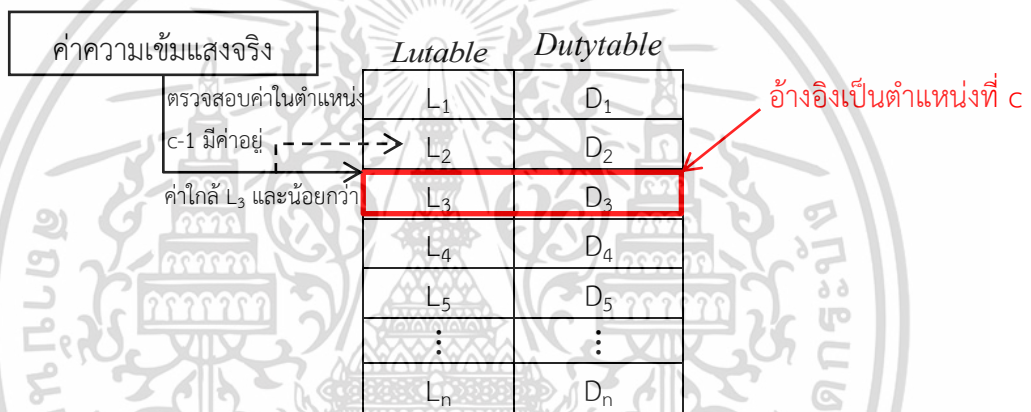
$$D = Dutytable_{c-1} + \frac{(Dutytable_c - Dutytable_{c-1})(L - Lutable_{c-1})}{Lutable_c - Lutable_{c-1}} \quad (3.5)$$

โดยที่  $Dutytable_{c-1}$  คือ ค่าวัฏจักรการทำงานในตาราง ตำแหน่งที่  $c-1$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ก่อนหน้าจากตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงในตารางมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงจริงที่สุด

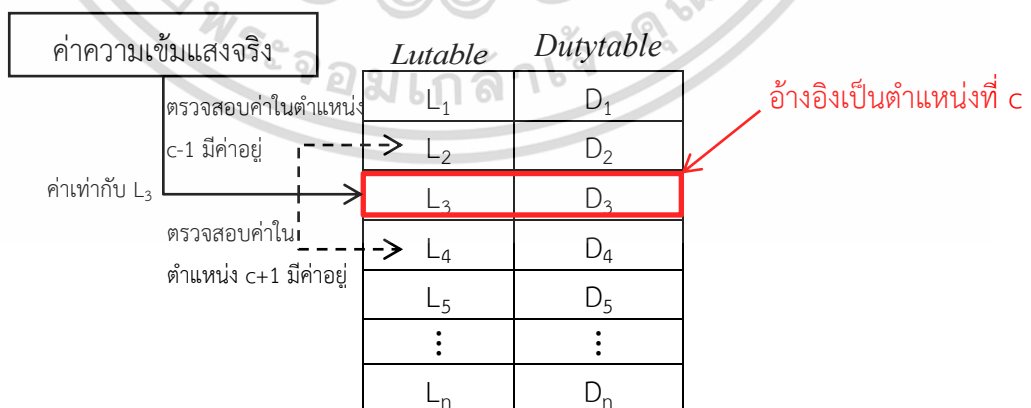
$Lutable_{c-1}$  คือ ค่าความเข้มแสงในตาราง ตำแหน่งที่  $c-1$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ก่อนหน้าจากตำแหน่งที่ค่าความเข้มแสงในตารางมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงจริงที่สุด



รูปที่ 3.12 วิธีการอ่านค่าจากตารางกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงมากกว่าค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งถัดไป (กรณีที่ 1 เป็นจริง)



รูปที่ 3.13 วิธีการอ่านค่าจากตารางกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงน้อยกว่าค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งก่อนหน้า (กรณีที่ 2 เป็นจริง)



รูปที่ 3.14 วิธีการอ่านค่าจากตารางกรณีที่ค่าความเข้มแสงจริงเท่ากับค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และมีค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งก่อนหน้าและตำแหน่งถัดไป (กรณีที่ 3 เป็นจริง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนกรณีที่ค่าความเข้มแสงเท่ากับค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และเมื่อค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งก่อนหน้าและตำแหน่งถัดไปตั้งตัวอย่างในรูปที่ 3.14 จากนั้นหาค่าของวัฏจักรการทำงานดังสมการที่ (3.6)

$$D = Dutytable_c \quad (3.6)$$

ในส่วนกรณีที่ย้ายที่เงื่อนไขไม่เป็นไปตามที่กำหนดทั้ง 3 ข้อดังที่กล่าวมา ระบบจะเลือกโหมดการทำงานเป็นแบบการรบกวนและสังเกตซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไปแทน

ดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเป็นแนวคิดที่ได้จากการใช้ MATLAB Simulink ในการจำลองแนวคิดว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ แต่ทว่าในการใช้งานจริงๆ การวัดค่าความเข้มแสงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถวัดแล้วสามารถคำนวณย้อนกลับเป็นค่าความเข้มแสงจริงได้ ซึ่งค่อนข้างลำบาก ดังนั้นในการทดลองจริงจึงได้เปลี่ยนตัวแปรในการใช้ข้อมูลจากค่าความเข้มแสงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมค่าความต้านทานที่อนุกรมอยู่กับตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสงซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.2.3 เรื่องการวัดค่าความเข้มแสงแล้ว

### 3.4.2 โหมดการรบกวนและสังเกต

วิธีการรบกวนและสังเกต (Perturb And Observe method : P&O) เป็นวิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดอย่างง่าย ปราศจากความซับซ้อน และไม่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ถึงแม้ว่าคุณลักษณะและพารามิเตอร์ของโซลาร์เซลล์จะเป็นอย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะทำการค้นหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของโซลาร์เซลล์โดยทำการสุ่มวัดค่ากำลังงานที่โซลาร์เซลล์จำนวน 500 จุดภายใน 0.5 วินาที แล้วทำการเฉลี่ยพร้อมจดจำค่านั้นเป็น กำลังงานไฟฟ้าค่าที่ 1 ( $P_1$ ) หลังจากนั้นกระทำการเช่นเดิมจะได้ค่ากำลังงานเฉลี่ยค่าใหม่เป็น กำลังงานไฟฟ้าค่าที่ 2 ( $P_2$ ) แล้วทำการเปรียบเทียบค่า  $P_1$  กับ  $P_2$  ในกรณีที่  $P_2$  น้อยกว่า  $P_1$  จะทำการลดค่าวัฏจักรการทำงาน 0.001 ในกรณีที่  $P_2$  มากกว่า  $P_1$  ค่าวัฏจักรการทำงานจะถูกปรับเพิ่มขึ้น 0.001 เช่นเดียวกัน กระบวนการเช่นนี้จะดำเนินการไปเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่ง que การทำงานถึงจุดกำลังงานสูงสุด อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ค่าวัฏจักรการทำงานจะถูกจำกัดค่าให้อยู่ในระหว่าง 0.1 – 0.9 เท่านั้น เพื่อป้องกันปัญหาทางเทคนิคของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์สวิตซ์

วิธีการรบกวนและสังเกตนั้นเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของโซลาร์เซลล์โดยมีขั้นตอนวิธีการที่เรียบง่ายดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการไปประยุกต์ ดัดแปลง หรือต่อยอดวิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของโซลาร์เซลล์เพื่อให้ความรวดเร็ว และแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้นำไปประยุกต์กับวิธีการอ่านค่าจากตารางซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4.1 เรื่องโหมดการอ่านค่าจากตาราง

### 3.4.3 การบันทึกค่าลงในตาราง

จากการทำงานของโหนดการอ่านค่าจากตาราง โหนดนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลอยู่ในตารางระดับหนึ่ง ฉะนั้นการบันทึกค่าลงในตารางจึงเป็นกระบวนการวิธีการที่สำคัญอย่างหนึ่งก่อนมีการใช้งานโดยการอ่านค่าจากตาราง

การบันทึกค่าลงในตารางเป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นไปพร้อมๆ กับวิธีการรบกวนและสังเกต ซึ่งจะทำหน้าที่บันทึกค่าความเข้มแสงกับค่าวัฏจักรการทำงานที่ได้จากการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ เมื่อการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดโดยระบบเลือกเป็นโหนดวิธีการรบกวนและสังเกต โดยมีกระบวนการบันทึกค่า ดังนี้

1. ค่าความเข้มแสงจริงต้องมีการแกว่งไม่เกิน 50 Lux (สำหรับค่าความเข้มแสงที่ไม่เกิน 1000 Lux) และ 500 Lux (สำหรับค่าความเข้มแสงมากกว่าหรือเท่ากับ 1000 Lux เป็นต้นไป) ภายในระยะเวลา 1 วินาที สำหรับการจำลอง สำหรับส่วนของอุปกรณ์จริงค่าความต้านทานของตัวต้านทานแปรค่าตามแสงต้องมีค่าการแกว่งไม่เกิน 500 Lux (สำหรับค่าความต้านทานระหว่าง 1000 Lux แต่ไม่เกิน 10000 Lux) และ 5000 Lux (สำหรับค่าความต้านทานตั้งแต่ 10000 Lux ขึ้นไป) ภายในระยะเวลา 1 นาที
2. เมื่อผ่านเกณฑ์ในข้อที่ 1 ระบบทำการเฉลี่ยค่าความเข้มแสงและค่าวัฏจักรการทำงานทั้งหมดที่วัดได้ ณ ช่วงนั้น
3. นำค่าเฉลี่ยความเข้มแสงไปเปรียบเทียบกับค่าตารางอ้างอิง เพื่อหาค่าในตารางอ้างอิงที่มีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยความเข้มแสงมากที่สุด และกำหนดตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่ c ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.15
4. กรณีที่มีค่าเก่าอยู่ในตารางแล้ว จะทำการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มแสงกับค่าในตารางอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่ c และผลต่างระหว่างค่าความเข้มแสงในตาราง ณ ตำแหน่งที่ c กับค่าในตารางอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่ c ถ้าผลต่างคู่แรกน้อยกว่าผลต่างคู่ที่สองจะทำการบันทึกค่าเฉลี่ยความเข้มแสงและค่าเฉลี่ยค่าวัฏจักรการทำงาน ณ ช่วงนั้นทับค่าเก่าในตาราง ถ้าผลต่างคู่แรกมากกว่าผลต่างคู่ที่สองจะไม่มีกรบันทึกค่าใดๆ ในกรณีไม่มีค่าเก่าในตารางจะบันทึกค่าลงในตารางทันทีโดยไม่ต้องเปรียบเทียบผลต่างที่กล่าวมาข้างต้น

Position	Lref		$L_{ave} = 390 \text{ Lux}$ $D_{ave} = 0.511$	Lutable	Dutytable
1 <sup>st</sup>	100	←			
2 <sup>nd</sup>	200	←			
3 <sup>rd</sup>	300	←			
4 <sup>th</sup>	400	←		390	0.511
5 <sup>th</sup>	500	←			
⋮	⋮				
20 <sup>th</sup>	2000	←			

ทำการค้นหาหาค่าที่ใกล้เคียง 390 มากที่สุด

ตำแหน่ง c

บันทึกค่า

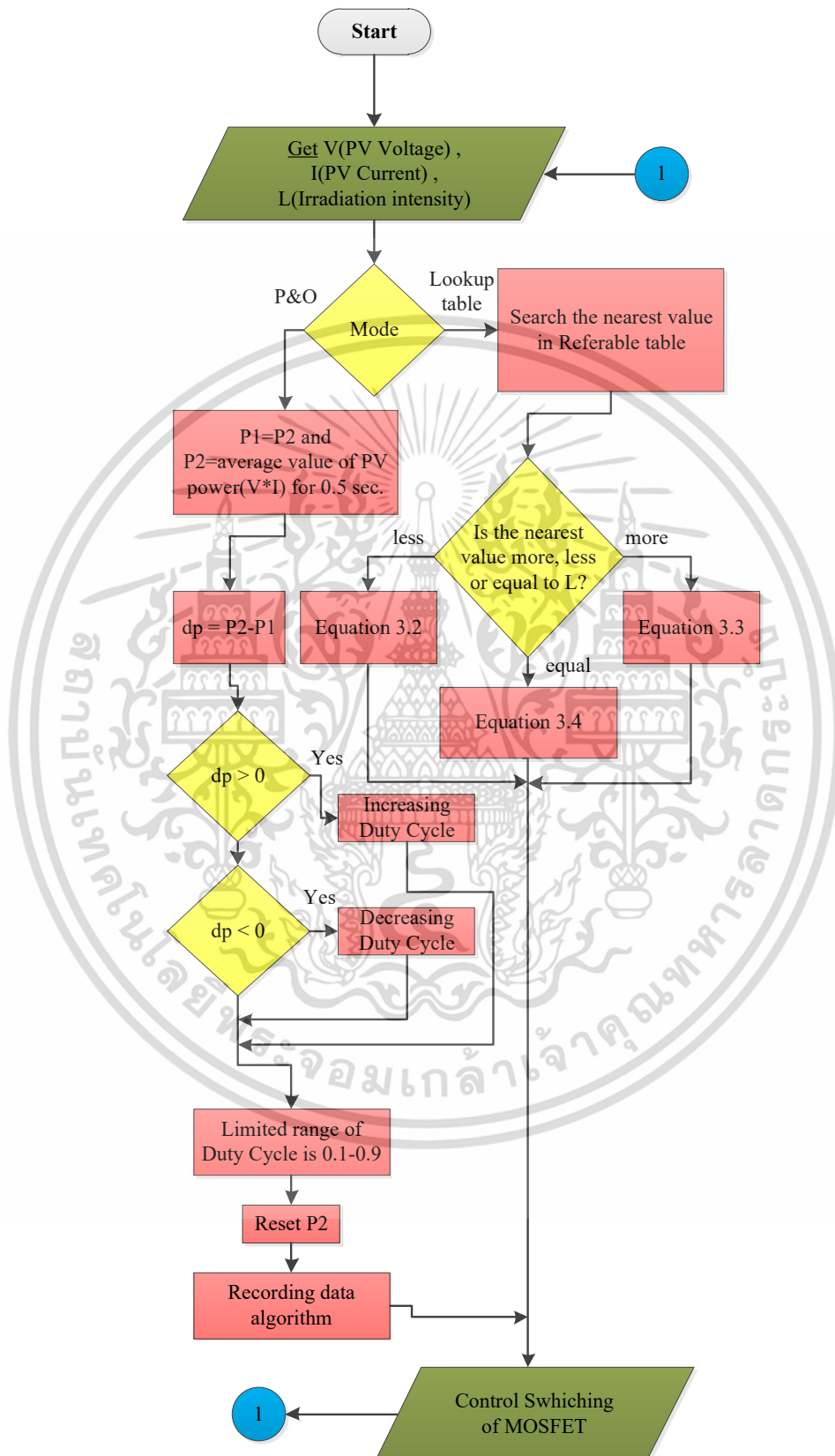
4 ที่สุด

ใกล้เคียงตำแหน่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการบันทึกค่าลงในตาราง

ภาพโดยรวมของการควบคุมทั้งหมดสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นโดยใช้ผังงาน (Flowchart) ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 Flowchart การควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 เครื่องบันทึกค่าการทดลอง

โดยทั่วไปแล้วการทดลองงานวิจัยในด้านต่างๆ จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลผลการทดลองเพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ ในการเก็บข้อมูลผลการทดลองทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังส่วนใหญ่ต้องใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ซึ่งมีราคาที่สูงในระดับหนึ่ง ฉะนั้นในงานวิจัย จึงได้สร้างเครื่องบันทึกค่าการทดลองอย่างง่ายซึ่งมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเครื่องบันทึกข้อมูลในท้องตลาด (ค่าใช้จ่าย 1,125 บาท อ้างอิงจาก <https://www.es.co.th> วันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ.2561)

ในงานวิจัยนี้เครื่องบันทึกค่าการทดลองได้ใช้ ET-USB FLASH DRIVE รูปที่ 3.17 ซึ่งอุปกรณ์ตัวนี้จะรับข้อมูลจาก dsPIC30F4011 ผ่าน UART Port ที่ 1 และใช้รูปแบบการสื่อสาร RS232 ที่ Baud Rate 9600 bps โดยมีการเก็บค่าข้อมูลผลการทดลองทั้งหมด 9 ค่าดังนี้

- โหมดการทดลอง
  - ค่า 0 หมายถึง โหมดการรบกวนและสังเกต
  - ค่า 1 หมายถึง โหมดการอ่านค่าจากตาราง
- ค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า หน่วย V
- ค่ากระแสไฟฟ้าขาเข้า หน่วย A
- ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาเข้า หน่วย W
- ค่าวัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle) เป็น เปอร์เซ็นต์
- ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก หน่วย V
- ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก หน่วย A
- ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออก หน่วย W



รูปที่ 3.17 ET-USB FLASH DRIVE ในการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมต	$V_{in}$	$I_{in}$	$P_{in}$	$D$	$V_{out}$	$I_{out}$	$P_{out}$
0	19.01	0.321	6.11	50.61	18.89	0.321	6.06
0	18.99	0.322	6.11	50.82	18.99	0.321	6.09
0	18.98	0.322	6.11	50.61	19.04	0.321	6.11
0	18.95	0.322	6.09	50.41	19.00	0.321	6.09
0	18.95	0.321	6.08	50.20	18.90	0.320	6.06
0	18.93	0.321	6.07	50.00	18.80	0.320	6.02
0	18.93	0.320	6.06	49.80	18.67	0.320	5.98
0	18.95	0.320	6.07	50.00	18.54	0.320	5.93

รูปที่ 3.18 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ถูกบันทึกในรูปแบบไฟล์ .txt

ค่าข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บบันทึกในรูปแบบไฟล์ .txt หรือ ไฟล์ text ลงใน Flash Drive ซึ่งชุดข้อมูลในแต่ละชุดจะถูกบันทึกทุกๆ 1 วินาที ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.18

### 3.6 สรุป

การติดตามจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการใหม่นี้เป็นการทำงานโดยใช้ 2 วิธีการ คือ การรบกวนและสังเกต กับ การอ่านค่าจากตาราง ประยุกต์เข้าด้วยกันแต่ไม่ได้หมายความว่าสองวิธีการนี้จะทำงานพร้อมกันแต่ทว่าระบบควบคุมจะเป็นตัวเลือกกว่า ณ สถานการณ์นั้นจะทำงานในรูปแบบโหมตซึ่งจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

การทำการทดลองในงานวิจัยนี้มี 2 รูปแบบ คือ การทดลองผ่านโปรแกรมจำลอง MATLAB Simulink และการทดลองจริง โดยการทดลองทั้ง 2 แบบ จะมีรูปแบบและเงื่อนไขในการทดลองที่คล้ายคลึงกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและเพิ่มความน่าเชื่อถือของการทดลองมากขึ้น

## บทที่ 4

# ขั้นตอนการทดลองและผลลัพธ์

### 4.1 บทนำ

การทำงาน ณ จุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบใหม่ที่มีการซึ่งผสมวิธีควบคุมการทำงาน 2 วิธีเข้าด้วยกันนั้น ได้แก่ วิธีการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจากตารางโดยในการทดลองมีทั้งแบบจำลองและอุปกรณ์จริง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและอุปกรณ์จริงว่ามีผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกันหรือไม่

ในส่วนของการจำลองผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink จะเป็นการทดลองเพื่อหาแนวโน้มของผลลัพธ์และความเป็นไปได้ของวิธีการนี้ รวมถึงการจำลองรูปแบบเงื่อนไขให้สอดคล้องกับการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบการทำงาน

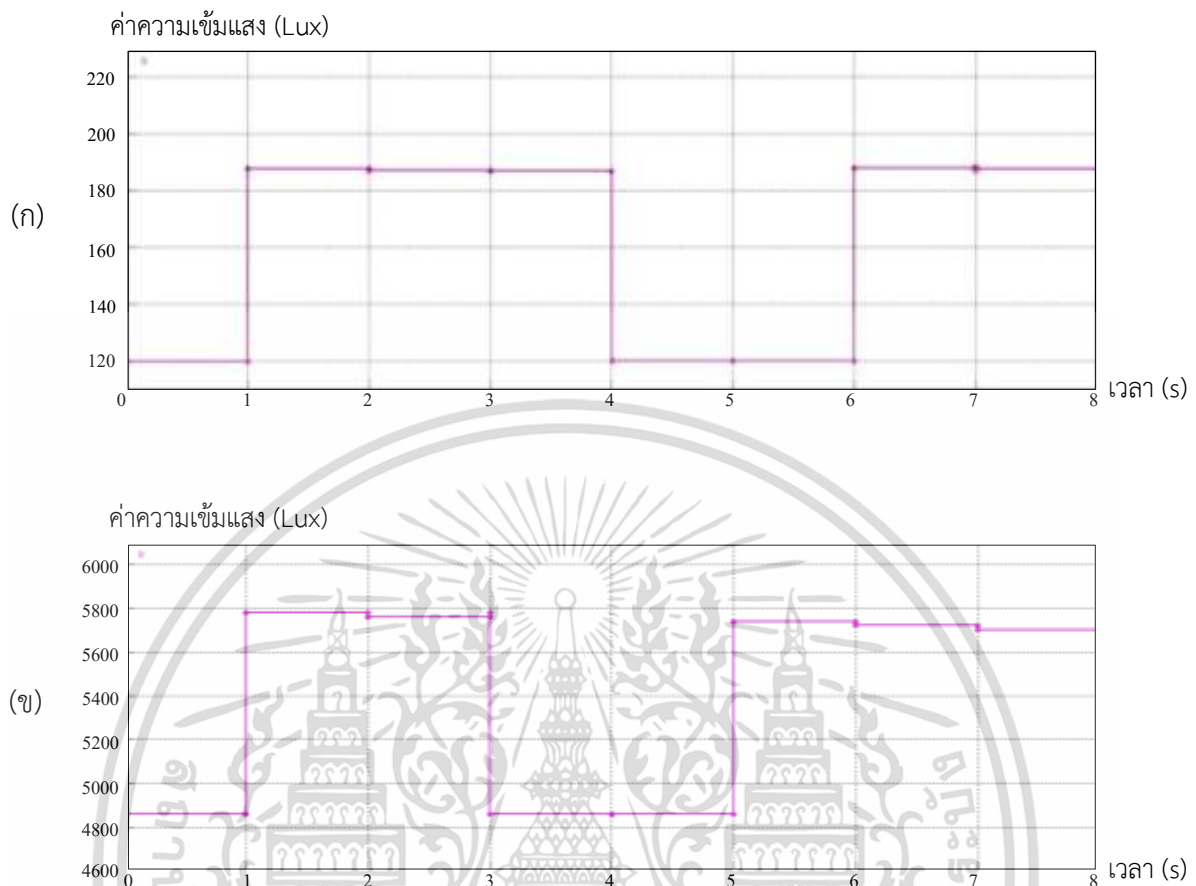
### 4.2 การทดลองผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink

ในการทดลองด้วยโปรแกรมนี้ จะกำหนดให้ค่าความเข้มแสงคล้ายคลึงกับการทดลองจริงให้มากที่สุดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและอ้างอิง โดยสถานการณ์จะเป็นการบังคับให้ตัวควบคุมเปลี่ยนโหมดการทำงานจากการรบกวนและสังเกตเป็นวิธีการอ่านค่าจากตาราง เนื่องจากถือเป็นจุดสำคัญที่สุดของการทำวิจัยนี้

#### 4.2.1 การกำหนดสถานการณ์เพื่อการจำลอง

เนื่องจากการใช้โปรแกรมจำลองต้องกำหนดค่าความละเอียดที่พอจะทำให้เห็นความแตกต่างของเส้นกราฟ ดังนั้นจึงได้กำหนดไว้ค่าไว้ที่  $2.5 \times 10^{-7}$  วินาทีต่อการสุ่ม 1 ครั้ง แต่ด้วยความละเอียดนี้จึงทำให้การจำลองผลค่อนข้างช้ากว่าปกติ ฉะนั้นการจำลองนี้จึงได้กำหนดขอบข่ายในระยะเวลาสั้นๆ เพียง 8 วินาที และใช้วิธีการบังคับเหตุการณ์ให้เกิดขึ้นโดยเร็วและส่งผลทำให้การควบคุมของวงจรเปลี่ยนวิธีการควบคุมเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขของวิธีการ

จากการจำลองได้สมมติค่าความเข้มแสงไว้ดังรูปที่ 4.1 (ก) สำหรับค่าความเข้มแสงน้อย และ 4.2 (ข) สำหรับค่าความเข้มแสงทั่วไป ซึ่งทั้ง 2 เป็นการจำลองสถานการณ์เลียนแบบมาจากการทดลองจริง (จากหัวข้อที่ 4.3.4) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อการทดลองอุปกรณ์จริง โดยค่าความเข้มแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันและเป็นสถานการณ์ความเข้มแสงที่ส่งผลทำให้ระบบควบคุมเปลี่ยนแปลงโหมดวิธีการรบกวนและสังเกตเป็นการอ่านค่าจากตารางได้

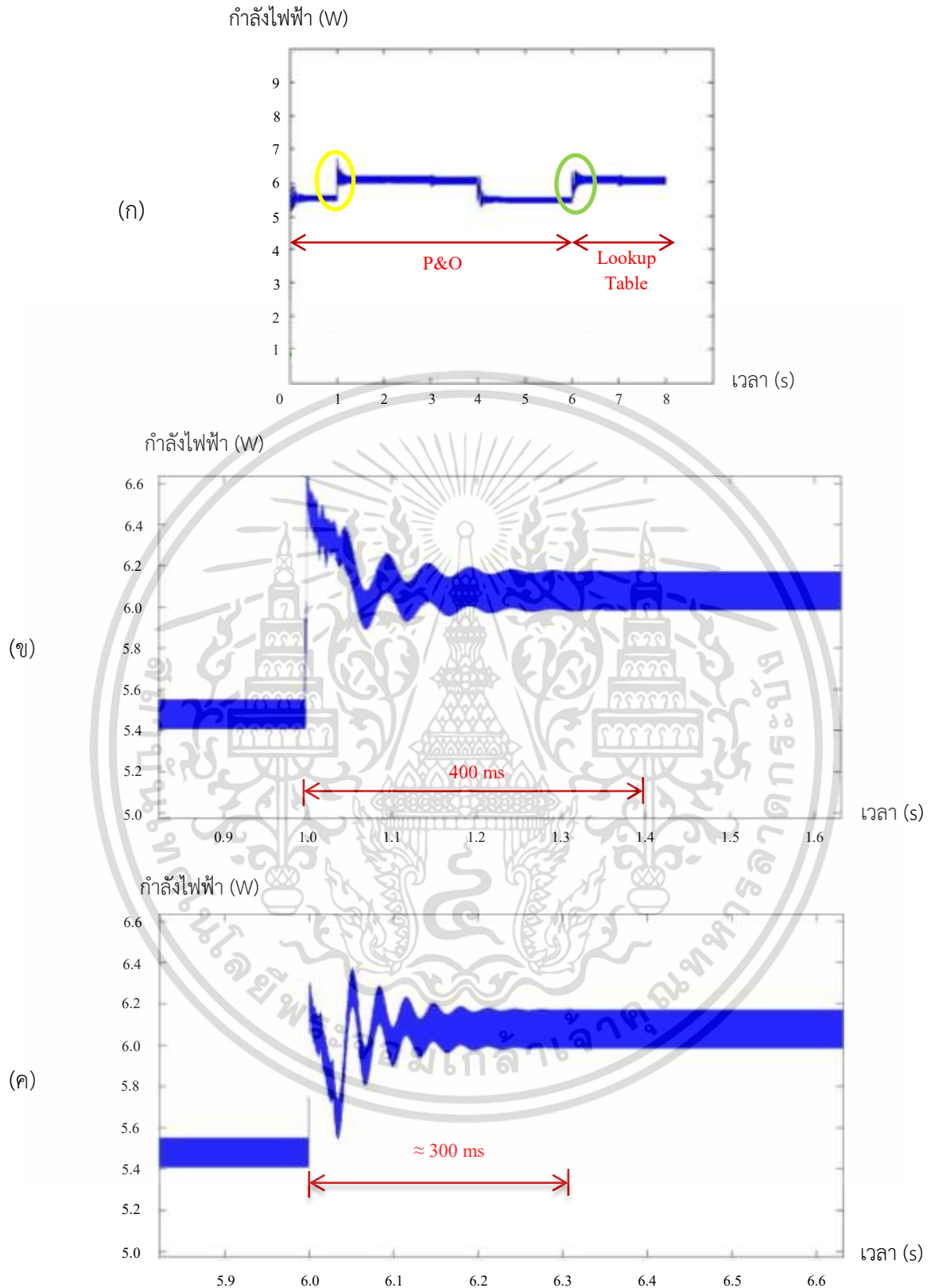


รูปที่ 4.1 ค่าความเข้มแสงจำลอง (ก) ที่ความเข้มแสงน้อย (ข) ที่ความเข้มแสงทั่วไป

#### 4.2.2 ผลการทดลองผ่านโปรแกรมจำลอง

การจำลองผลนี้จะใช้ค่าความเข้มแสงในรูปที่ 4.1 โดยในรูปที่ 4.2 (ก) เป็นผลการทดลองจากค่าความเข้มแสง 4.1 (ก) ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานไฟฟ้ากับเวลา โดยช่วง 6 วินาทีแรกระบบจะทำงานในส่วนของวิธีการรบกวนและสังเกตซึ่งในช่วงนี้จะมีการเก็บค่าข้อมูลลงในตารางไปในตัวเนื่องจากค่าความเข้มแสงมีความนิ่งในระยะเวลาที่กำหนด (กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4.3 การบันทึกค่าลงในตาราง) แต่ทว่าหลังจาก 6 วินาทีเป็นต้นไป ระบบได้เปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นการอ่านค่าจากตารางซึ่งก็เข้าเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้เช่นกันโดยมีค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่างค่าที่มีในตาราง เมื่อขยายวงรีสีเหลืองในรูปที่ 4.2 (ก) จะได้รูปดัง 4.2 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของวิธีการรบกวนและสังเกตโดยใช้เวลาในการลู่เข้า 0.4 วินาที ส่วนรูปที่ 4.2 (ค) เป็นขยายจากวงรีสีเขียวในรูปที่ 4.2 (ก) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของวิธีการอ่านค่าจากตารางโดยใช้เวลาในการลู่เข้าน้อยกว่า 0.3 วินาที ซึ่งใช้น้อยกว่าวิธีการรบกวนและสังเกต

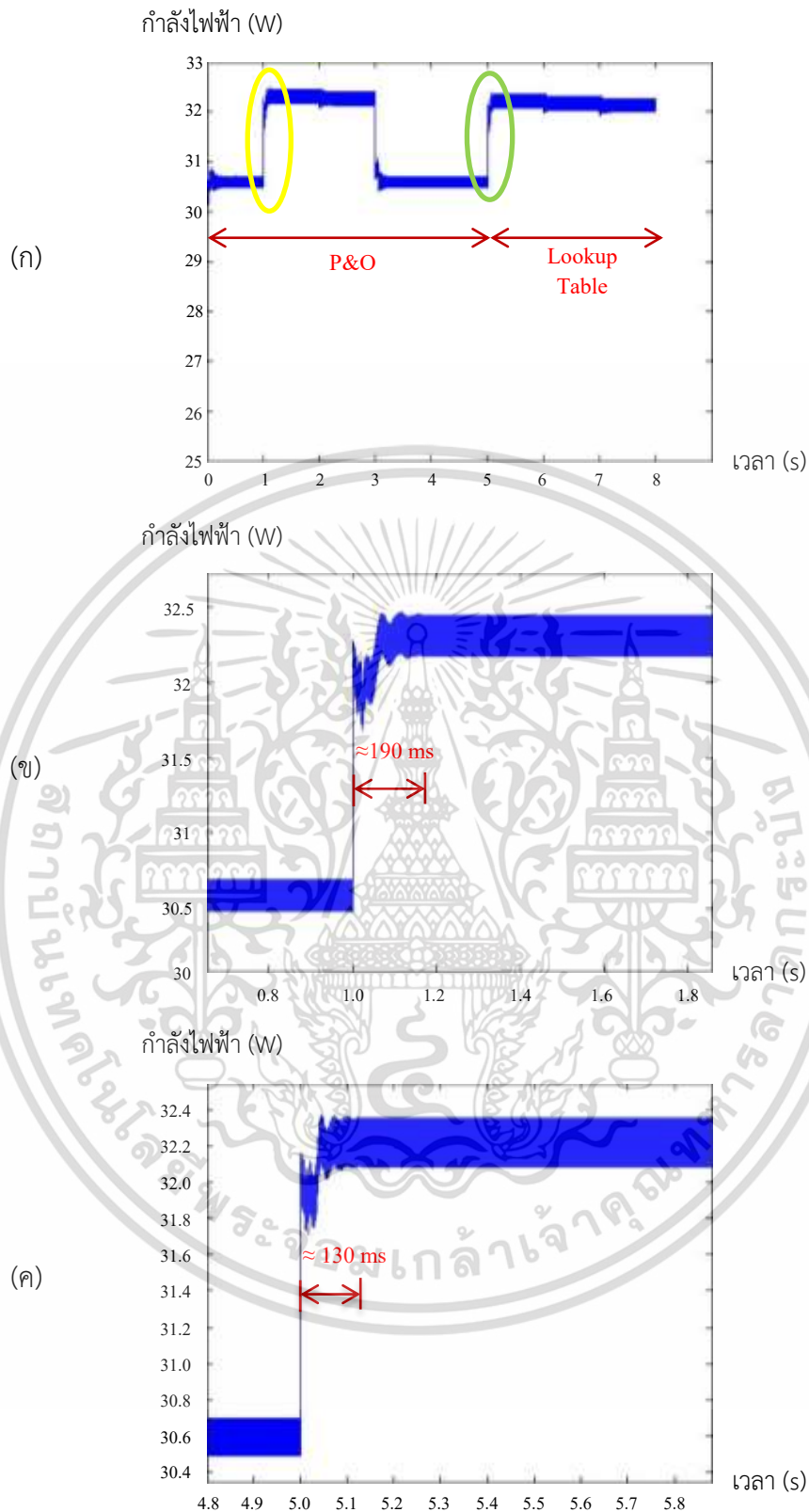
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรมโดยป้อนค่าความเข้มแสงจากรูปที่ 4.1(ก)

(ก) กราฟกำลังไฟฟ้าขาเข้าจากการทดลอง (ข) การลู่เข้าหาจุดกำลังสูงสุดของการรบกวน และสังเกต (ค) การลู่เข้าหาจุดกำลังสูงสุดของการอ่านค่าจากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรมโดยป้อนค่าความเข้มแสงจากรูปที่ 4.1 (ข) (ก) กราฟกำลังไฟฟ้าขาเข้าจากการทดลอง (ข) การลู่เข้าหาจุดกำลังสูงสุดของการรบกวนและสังเกต (ค) การลู่เข้าหาจุดกำลังสูงสุดของการอ่านค่าจากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.3 (ก) เป็นผลการทดลองจากค่าความเข้มแสง 4.1 (ข) โดยการทดลองเหมือนกับแบบแรกเพียงแต่ทดลองโดยใช้ค่าความเข้มแสงที่สูงขึ้น ซึ่งในช่วง 5 วินาทีแรก ระบบจะทำงานในส่วนของวิธีการรบกวนและสังเกตรวมถึงเก็บค่าข้อมูลลงในตาราง หลังจาก 5 วินาทีเป็นต้นไป ระบบได้เปลี่ยนโหมดการทำงานเช่นเดียวกันกับการทดลองอย่างแรก และเมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการลู่เข้าของทั้งสองโหมดจะเห็นว่าโหมดวิธีการอ่านค่าจากตาราง (รูปที่ 4.3 (ค), ขยายจากวงรีสีเขียวของรูปที่ 4.3 (ก)) สามารถลู่เข้าจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้ดีกว่าวิธีการรบกวนและสังเกต (รูปที่ 4.3 (ข), ขยายจากวงรีสีเหลืองของรูปที่ 4.3 (ก))

### 4.3 การทดลองอุปกรณ์จริง

#### 4.3.1 การทดสอบวิธีการรบกวนและสังเกต

เนื่องจากวิธีการอ่านค่าจากตารางเป็นวิธีการที่ต้องอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (แรงดันตกคร่อมความต้านทาน) กับค่าวัฏจักรการทำงาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะได้จากวิธีการรบกวนและสังเกต ดังนั้นจึงต้องมั่นใจได้ว่าวิธีการรบกวนและสังเกตในการทดลองครั้งนี้สามารถติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้จริง ฉะนั้นจึงได้ทดสอบวงจรและวิธีการควบคุมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) โดยการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าไว้ที่ 18 V และตั้งค่าจำกัดกระแสไว้ในระดับหนึ่ง จากนั้นต่อแหล่งจ่ายกับวงจรเพื่อทำการทดสอบ ได้ค่าแรงดันและกระแสเริ่มต้น (ตั้งค่าวัฏจักรการทำงานเริ่มต้นไว้ที่ 0.5) ดังรูปที่ 4.4 (ก) จะสังเกตว่าแหล่งจ่ายทำงานในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (ไฟเขียวติด C.V. ติด) จากนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 4 – 5 วินาที (สังเกตได้จากกราฟจากรูปที่ 4.5 ทั้ง (ก) (ข) และ (ค)) โหมดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้เปลี่ยนเป็นโหมดจำกัดกระแส (ไฟแดงติด C.C.ติด) ดังรูปที่ 4.4 (ข) และหลังจากนั้นเพียงแหล่งจ่ายไฟก็กลับไปเป็นโหมดแรงดันคงที่กลับไป-มากับโหมดจำกัดกระแส ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ กระแสไฟฟ้าค่าที่ถูกจำกัดพอดีเปรียบเสมือนจุดนั้นเป็นจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด ดังนั้นวิธีการรบกวนและสังเกตในงานวิจัยนี้สามารถติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้จริง



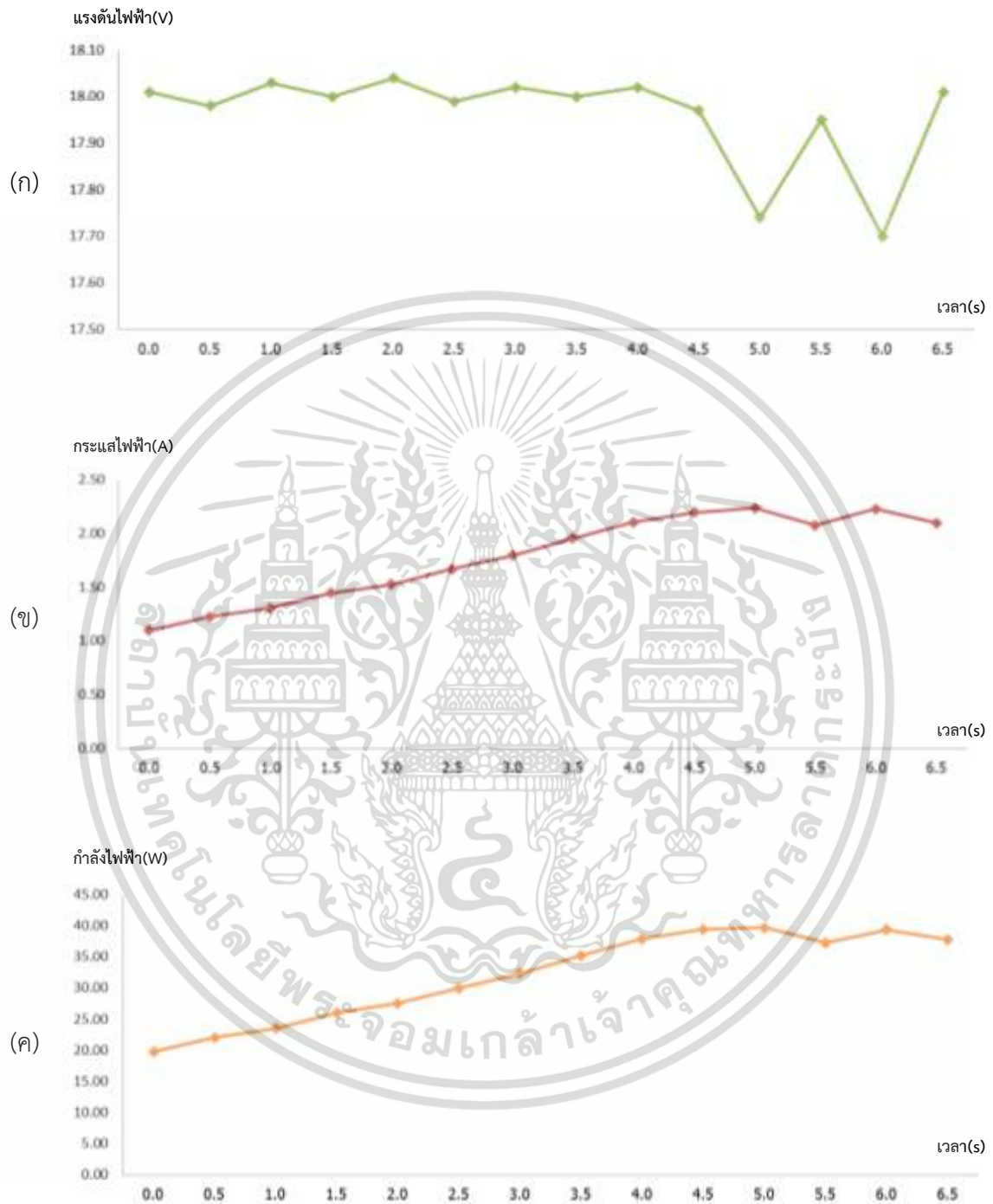
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากการทดสอบ (ก) ขณะเริ่มทดสอบ (ข) เมื่อผ่านไประยะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ก) กราฟแรงดันไฟฟ้าขณะทำการทดลองการทำงานของวิธีการรบกวนและสังเกต

(ข) กราฟกระแสไฟฟ้าขณะทำการทดลองการทำงานของวิธีการรบกวนและสังเกต

(ค) กราฟกำลังไฟฟ้าขณะทำการทดลองการทำงานของวิธีการรบกวนและสังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การสร้างและทดสอบวิธีการเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ .txt

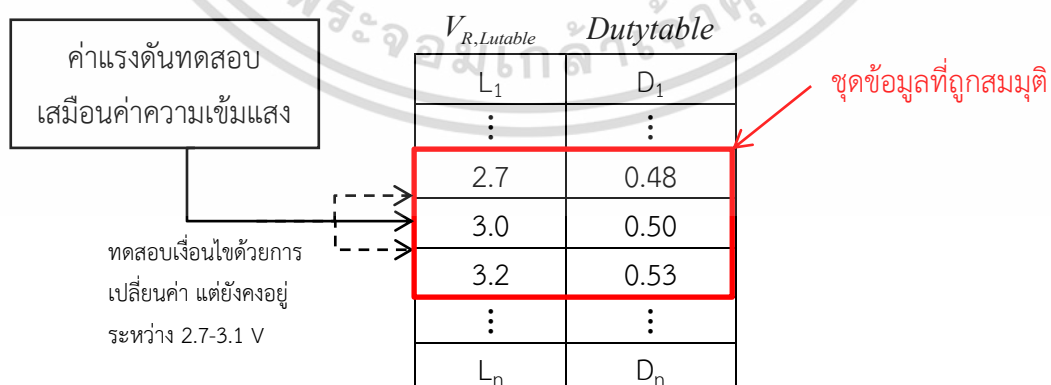
จากที่กล่าวมาตั้งแต่บทนำ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้การเก็บข้อมูลโดยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) แต่ใช้เป็นการเขียนข้อมูลลง Flash Drive ในรูปแบบไฟล์ .txt ผ่านการบันทึกจากเครื่อง ET-USB FLASH DRIVE โดยมีการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RS-232 (Recommended Standard no.232) เข้ากับ UART-1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของรายละเอียดการบันทึกข้อมูลได้ถูกกล่าวไว้ในเครื่องบันทึกค่าการทดลองในบทที่ 3

ในส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดได้และบันทึกลงใน Flash Drive นั้นได้ค่าที่ใกล้เคียงกับมัลติมิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดพื้นฐานทั่วไปที่เชื่อถือได้

#### 4.3.3 การทดสอบวิธีการอ่านค่าจากตาราง

ในการทดสอบส่วนนี้จะทำการทดสอบเพียงแค่มอเดลการอ่านค่าจากตารางเท่านั้นเพื่อให้มั่นใจในการทำงานจริงกรณีที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมในโมเดลนี้ โดยในการทดสอบขั้นนี้จะทำการสมมติค่าแล้วใส่เข้าไปในตารางการทำงาน ซึ่งค่าที่สมมตินี้ไม่ใช่ค่าที่ทำให้ระบบทำงาน ณ จุดการทำงานที่กำลังสูงสุด เพียงแต่เป็นการทดสอบเงื่อนไขการทำงานในโมเดลการอ่านค่าจากตารางก่อนนำไปทดลองกับแผงโซลาร์เซลล์

ค่าที่ได้ใส่ลงไปในตารางจะมีด้วยกัน 2 ค่า คือ ค่าแรงดันตกคร่อมค่าความต้านทานที่อนุกรมกับตัวต้านทานแปรค่าตามแสงกับค่าวัฏจักรการทำงาน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใส่ข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ไป 3 ชุด แล้วทำการทดลองโดยการควบคุมค่าแรงดันตกคร่อมค่าความต้านทานที่อนุกรมกับตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (กรณีนี้จะถอดตัวต้านทานแปรค่าตามแสงออกไปก่อน และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้เป็นตัวปรับค่าแรงดันตกคร่อมแทน) เพื่อบังคับเหตุการณ์ให้ตกภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดแล้วดูผลลัพธ์การควบคุมว่าเป็นไปตามที่ได้เขียนโปรแกรมควบคุมไว้ตั้งในหัวข้อที่ 3.4 เรื่องแนวคิดและวิธีการควบคุมหรือไม่



รูปที่ 4.6 วิธีการทดสอบโมเดลการอ่านค่าจากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

ในการทดลองได้ใช้แหล่งจ่ายเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยกำหนดแรงดันไว้ที่ 18 V ต่อเข้ากับวงจรกำลังหลักที่ถูกควบคุมการทำงานสวิตซ์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกใส่ข้อมูล 3 ชุด จากนั้นจึงทำการทดลองควบคุมให้เงื่อนไขการทำงานตกอยู่ในโหมดการอ่านค่าจากตารางโดยบังคับค่าแรงดัน  $V_{R,Lutable}$  ให้ตกอยู่ระหว่าง 2.7 V – 3.1 V (ค่าสมมุติที่ใส่ในตาราง) ดังรูปที่ 4.6 หลังจากทำการทดลองจึงได้นำข้อมูลผลจากไฟล์ .txt มาแสดงในรูปตารางดังตารางที่ 4.1 จากการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณผลลัพธ์ทางทฤษฎีจะสังเกตเห็นว่าค่าใกล้เคียงกัน และสามารถชี้ให้เห็นได้ว่าเมื่อเงื่อนไขการทำงานตกอยู่ในโหมดการอ่านค่าจากตารางไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานในโหมดนี้ได้อย่างถูกต้อง

#### 4.3.4 การทดสอบกับแผงโซลาร์เซลล์

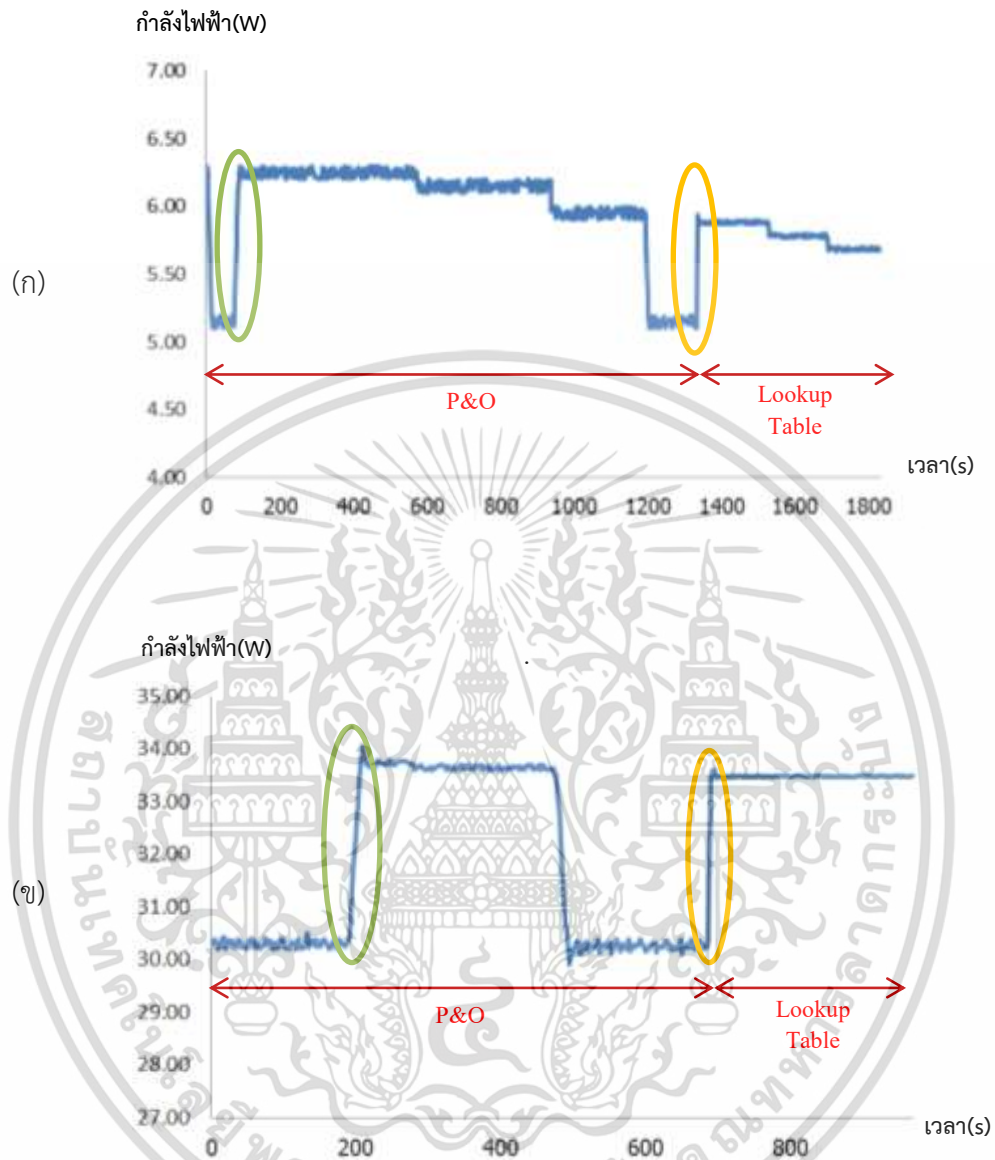
การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองเพียงระยะสั้นๆ เพื่อทดสอบเงื่อนไขของการทำงานว่าเป็นไปตามที่กำหนดและได้ผลลัพธ์ที่คล้ายกับการใช้โปรแกรมจำลองหรือไม่

การทดลองส่วนนี้จะใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีคุณสมบัติดังรูปที่ 4.7 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าแรงดันและกระแสสูงสุดไม่เกินค่าพิกัดที่วงจรในการทดลองรับได้ (ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3) โดยแผงโซลาร์เซลล์มีขนาด 40W เป็นแบบผลึกกรวม (Polycrystalline) ที่มีค่าพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 18 V และ 2.22 A ตามลำดับ ณ อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เชื่อมต่อกับวงจรภาคกำลังหลักและต่อเข้ากับโหลดความต้านทานขนาด 60  $\Omega$  ในส่วนของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งถูกควบคุมความถี่การทำงานไว้ที่ 30 kHz โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองโหมดวิธีการอ่านค่าจากตาราง

$V_{R,Lutable}$ (V)	Duty Cycle	$P_{in,real}$ (W)	$P_{in,theory}$ (W)
2.8	0.4867	4.80	4.85
2.9	0.4933	5.09	5.12
3.0	0.5000	5.38	5.40
3.1	0.5150	6.05	6.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับนักเรียนในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่เว้นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองระยะสั้น (ก) 7 มีนาคม 2561 และ (ข) 8 มีนาคม 2561

การทดลองในวันที่ 7 มีนาคม 2561 เวลา 17.02 น. จะเป็นการทดลองที่ควบคุมไปกับการทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองในหัวข้อที่ 4.2.2 (รูปแบบค่าความเข้มแสงในรูปที่ 4.1 (ก)) โดยปล่อยให้การทดลองให้เก็บค่าไว้เป็นเวลาประมาณ 1800 วินาที หรือ 30 นาที จากสถานการณ์การเก็บข้อมูล ขณะนั้น ช่วงประมาณ 100 วินาทีแรก เป็นช่วงที่ผู้ทำการทดลองได้ทำการบังแผงโซลาร์เซลล์เพื่อเป็นจุดอ้างอิงการรู่เข้าการทำงานที่กำลังงานสูงสุดของวิธีการรบกวนและสังเกต จากนั้นจึงปล่อยให้ เป็นปกติจนกระทั่งประมาณวินาทีที่ 1200 ผู้ทำการทดลองได้ทำการบังแผงโซลาร์เซลล์เหมือนกับ ช่วงแรกอีกครั้งเพื่อเป็นการบังคับสถานการณ์ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนโหมดการทำงานของวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

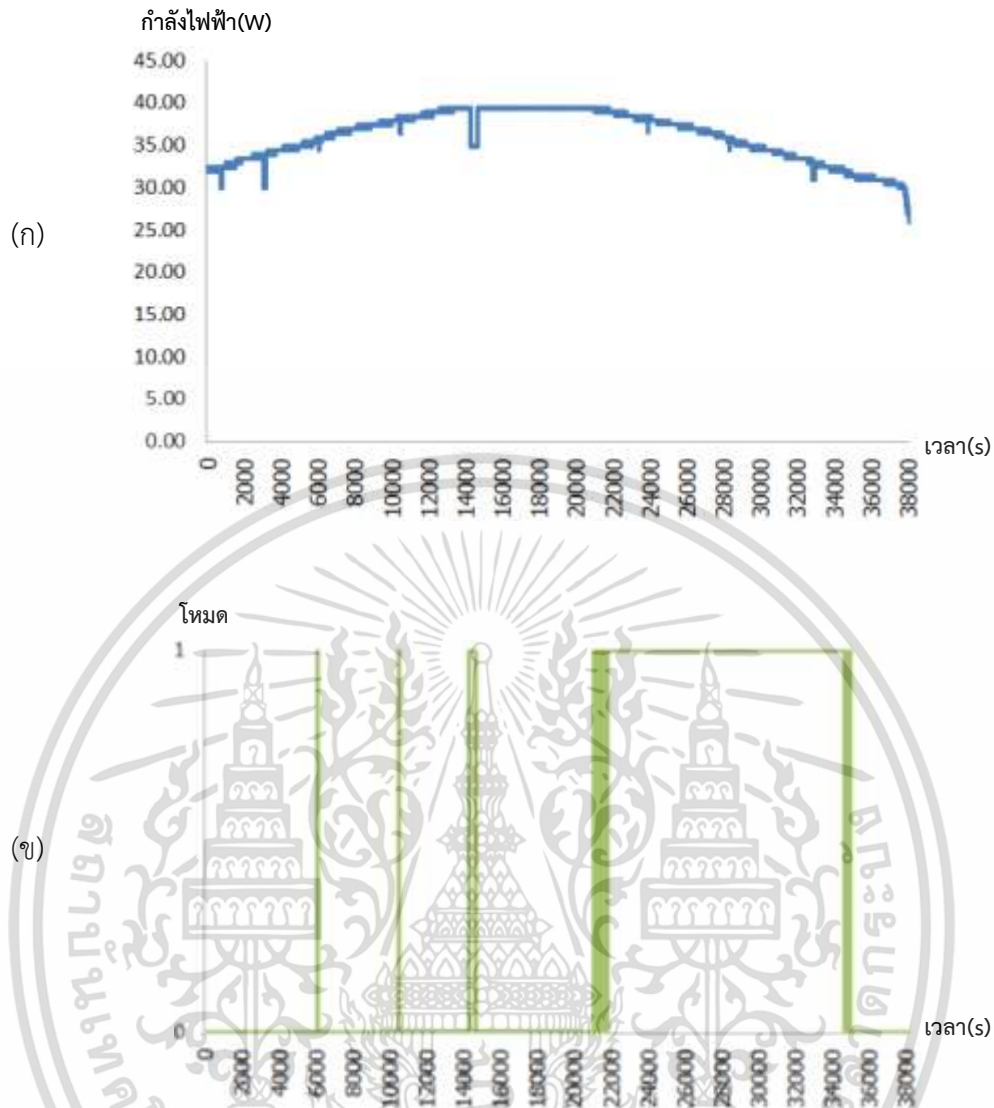
จากวิธีการรบกวนและสังเกตเป็นการอ่านค่าจากตาราง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 (ก) (นำข้อมูล กำลังไฟฟ้าขาเข้าจากไฟล์ .txt มาพล็อตเป็นกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel) ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา และสามารถนำการลู่เข้าของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบจากการดูความชันของเส้นกราฟในวงกลมสีเขียว (การรบกวนและสังเกต) และวงกลมสีแดง (อ่านค่าจากตาราง) ซึ่งสังเกตได้ว่ากราฟการลู่เข้าของการอ่านค่าจากตารางมีความชันมากกว่าการรบกวนและสังเกต จึงกล่าวได้ว่าการอ่านค่าจากตารางมีความเร็วในการลู่เข้าจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้ดีกว่าการรบกวนและสังเกต และเมื่อนำผลการทดลองรูปที่ 4.8 (ก) เปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมจำลองซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.2 (ก) สังเกตได้ว่าทั้งคู่มีรูปแบบการทำงานที่เหมือนกัน

ในส่วนผลการทดลองในรูป 4.8 (ข) เป็นผลการทดลองเมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2561 เวลา 15.43 น. ซึ่งเป็นการทดลองที่ควบคุมไปกับการทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองในหัวข้อที่ 4.2.2 (รูปแบบค่าความเข้มแสงในรูปที่ 4.1 (ข)) โดยลักษณะและวิธีการทำการทดลองจะเหมือนกับการทดลองก่อนหน้านี้ และได้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันว่าวิธีการอ่านค่าจากตารางมีความเร็วในการลู่เข้าจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้ดีกว่าการรบกวนและสังเกต

#### 4.3.5 การทดลองจริง

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการนำเอาทุกวิธีการทดสอบที่ได้ทดสอบมาแล้วข้างต้นรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้วิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบใหม่ที่ผสมผสานวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการอ่านค่าด้วยกันและสามารถทราบโหมดการทำงานและค่าต่างๆ ได้ผ่านการบันทึกข้อมูลไฟล์ .txt บน Flash Drive และได้ผลการทดลองดังนี้

ณ วันที่ 28 ธันวาคม 2561 ระยะการทดลองเริ่มต้นที่เวลา 7.03 น. ถึง 17.38 น. ระยะเวลาการทดลอง 10 ชั่วโมง 35 นาที ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.9 (ก) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงานไฟฟ้าที่แผ่เซลล์กับเวลา และรูปที่ 4.9 (ข) คือ กราฟแสดงโหมดการทำงานของวงจรว่าใช้วิธีการใดในการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุด จากการทำงานในส่วนครั้งแรก (ช่วงเช้าหรือช่วงเวลาก่อนวินาทีที่ 14000) จะสังเกตได้ว่าส่วนใหญ่โหมดการทำงานของวงจรจะเป็นโหมดการรบกวนและสังเกต (โหมด 0) ซึ่งในช่วงนี้เองจะมีการบันทึกค่าลงในตารางเพื่อเป็นข้อมูลให้กับโหมดการอ่านค่าจากตารางต่อไป อย่างไรก็ตามจะมีเพียงบางส่วนในครั้งแรกที่มีการทำงานเป็นโหมดอ่านค่าจากตาราง (โหมด 1) เนื่องจากบางช่วงเกิดเมฆบังเล็กน้อยซึ่งเป็นปัจจัยทางธรรมชาติควบคุมไม่ได้ แต่ทว่าช่วงครึ่งหลัง (ช่วงบ่ายหรือช่วงวินาทีที่ 20000 กว่า เป็นต้นไป) รูปแบบโหมดการทำงานส่วนใหญ่จะทำงานในโหมดการอ่านค่าจากตาราง (โหมด 1) จนกระทั่งช่วงประมาณหลังวินาทีที่ 35000 (ประมาณ 16.50 น. หรือช่วงที่แสงเริ่มน้อยลงมาก) โหมดการทำงานได้กลับเป็นโหมดรบกวนและสังเกตอีกครั้งเนื่องจากค่าความเข้มแสงในช่วงนี้ยังไม่เคยถูกบันทึกลงในตาราง



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองเต็มวันของวิธีการแบบใหม่ (ก) กำลังไฟฟ้า (ข) โหมตการทำงาน

#### 4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ได้ผลการทดลองเป็นไปตามดังวัตถุประสงค์ โดยระบบควบคุมสามารถติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้ด้วยการผสมผสานวิธีการระหว่างการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจากตาราง รวมทั้งวิธีการนี้ยังมีความเร็วในการลู่เข้าหาจุดกำลังงานสูงสุดได้ดีกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตเพียงอย่างเดียว

ในส่วนของ การทดลองจากอุปกรณ์จริง ระบบสามารถติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดด้วยการผสมผสานวิธีการระหว่างการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจากตารางได้เช่นกันและมีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับการจำลองในโปรแกรม MATLAB Simulink โดยจำลองค่าความเข้มแสงในโปรแกรมจำลองให้ใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากที่สุดเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ และเมื่อ

ทดลองจริงในระยะยาวระบบสามารถใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเจอค่าความเข้มแสงที่อยู่นอกเหนือจากตารางระบบจะเปลี่ยนการทำงานจากโหมดอ่านค่าจากตารางเป็นโหมดการรบกวนและสังเกตแทน รวมถึงการทำงานในกรณีที่ค่าความเข้มแสงที่เกินกว่าพิกัดตัวต้านทานแปรค่าตามแสง ระบบจะเลือกโหมดการทำงานเป็นการรบกวนและสังเกตแทนเช่นกัน

ในส่วนเครื่องบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้า อุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้ตามที่วัตถุประสงค์กำหนดไว้โดยสามารถบันทึกข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ .txt ลงบน Flash Drive และผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลได้จากไฟล์ใน Flash Drive ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่ารูปไฟล์ข้อมูลจะไม่สะดวกเหมือนกับเครื่องบันทึกข้อมูลจริงแต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมของอุปกรณ์นี้ถูกกว่าเครื่องบันทึกข้อมูลจริงอย่างแน่นอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวงจรบัค-บูสต์ควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเลือกอัตโนมัติ ระหว่างการรบกวนและสังเกตกับการอ่านค่าจากตารางเพื่อประยุกต์ใช้ติดตามหาจุดการทำงานที่ กำลังงานสูงสุดแบบใหม่ โดยวิธีการใหม่นี้มาจากการผสมผสานวิธีการรบกวนและสังเกตซึ่งเป็นวิธีการ ดั้งเดิมกับวิธีการอ่านค่าจากตารางที่มีแนวคิดมาจากคณิตศาสตร์พื้นฐานเรื่องการเทียบ บัญญัติไตรยางศ์โดยเป็นการคำนวณค่าตัวเลขจากข้อมูลที่มีอยู่บนความสัมพันธ์อย่างเป็นสัดส่วน

#### 5.1 สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดวิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบ ใหม่โดยประยุกต์ 2 วิธีการเข้าด้วยกันคือวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการอ่านค่าจากตาราง การ ทดลองในงานวิจัยนี้มีทั้งแบบการจำลองผลลัพธ์ผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink และ การทดลอง จากอุปกรณ์จริง

ในการทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลอง ทางผู้ทำการวิจัยได้กำหนดแหล่งจ่ายเป็นแผงโซลาร์ เซลล์ที่มีพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ณ กำลังงานสูงสุดที่ 18 V และ 2.22 A ตามลำดับ ต่อผ่าน วงจรบัค-บูสต์ที่ถูกควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่ความถี่ 30 kHz โดยวงจรควบคุม Embedded MATLAB Function1 เป็นตัวคุมการทำงานทั้งหมด แล้วต่อเข้ากับโหลดความต้านทานขนาด 60  $\Omega$  โดยผู้ทำ การทดลองสามารถควบคุมเหตุการณ์และการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงได้เนื่องจากเป็น โปรแกรมจำลอง เมื่อทำการจำลองได้ผลลัพธ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์กำหนดไว้โดยระบบสามารถลู่ เข้าหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดได้ด้วยวิธีการแบบใหม่และลู่เข้าได้เร็วกว่าวิธีการรบกวนและ สังเกตในหลักมิลลิวินาที

ในการทดลองจากอุปกรณ์จริง ทางผู้ทำการวิจัยได้ใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าขนาด 40 W โดยมีพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่กำลังงานสูงสุดอยู่ที่ 18 V และ 2.22 A ต่อผ่านวงจรบัค- บูสต์ที่ได้ถูกออกแบบที่ได้จำลองใน MATLAB Simulink (บางอุปกรณ์มีการเปลี่ยนค่าเล็กน้อยเพื่อให้ หาได้ในท้องตลาด) ต่อเข้ากับโหลดขนาด 60  $\Omega$  โดยความถี่การสวิตซ์ของวงจรหลักถูกควบคุมโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ในส่วนของการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ผ่านโมดูล ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์และบันทึกข้อมูลลงใน Flash Drive มีค่าความผิดพลาดเล็กน้อยเมื่อเทียบ อุปกรณ์วัดของจริงตามมาตรฐาน และท้ายที่สุดผลการทดลองระบบสามารถลู่เข้าหาจุดการทำงานที่ กำลังงานสูงสุดได้ด้วยวิธีการแบบใหม่และลู่เข้าได้เร็วกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตได้เช่นเดียวกับการ จำลองโปรแกรม แต่ทว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 100 Luk – 100 kLuk เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการติดตามหาจุดการทำงานที่กำลังงานสูงสุดแบบใหม่นี้จากแนวคิดและการทดลองในโปรแกรมจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถรู้ค่ากำลังงานสูงสุดได้ แต่ทว่าการทำอุปกรณ์จริงยังคงประสบปัญหาในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับค่าความเข้มแสงไม่สามารถแยกแยะค่าความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ได้ซึ่งส่งผลทำให้ไม่มีการบันทึกค่าลงในตาราง และส่งผลโดยตรงต่อวิธีการอ่านค่าจากตารางจึงไม่สามารถทำงานได้เมื่อค่าความเข้มแสงอยู่นอกเหนือจาก 100 Luk – 100 kLuk

ในการพัฒนาวิธีการนี้ให้สามารถใช้งานได้จริงจำเป็นต้องพึ่งอุปกรณ์หรือเซนเซอร์ที่สามารถแยกแยะค่าความเข้มหรือความสว่างของแสงอาทิตย์ได้อย่างชัดเจนซึ่งปัจจุบันอุปกรณ์เหล่านี้ยังคงมีราคาสูงและถ้าจะนำมาใช้จำเป็นต้องศึกษาตัวอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างละเอียด และต้องประยุกต์ให้สามารถเชื่อมต่อการทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการทำงานครอบคลุมช่วงค่าความเข้มแสงที่กว้างยิ่งขึ้น

ในส่วนของการบันทึกผลการทดลองลงบน Flash Drive มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถอ่านผลการทดลองได้ในระหว่างทำการทดลอง ซึ่งจะอ่านได้ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์หยุดทำการทดลองเรียบร้อยแล้วเท่านั้น

ในการแก้ปัญหาของการบันทึกผลการทดลองนี้อาจใช้วิธีการเพิ่ม Output ที่ UART-2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ผ่าน HyperTerminal ซึ่งจะทำได้ สามารถอ่านผลการทดลองได้ ณ ขณะทำการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Vladimir , R. Scarpa, S. Buso and G. Spiazzi, “Low-complexity MPPT technique exploiting the PV module MPP locus characterization”, IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 5, May 2009.
- [2] S. Y. Prasad, B. B. Chhetri, B. Adhikary and D. Bista, “Microcontroller based intelligent DC/DC converter to track maximum power point for solar photovoltaic module”, IEEE Trans. Ind. Electron., 2010.
- [3] T. Esum and P. L. Chapman, “Comparison of photovoltaic array MPPT techniques”, IEEE Trans. energy conversion., 2007
- [4] M. Pastre, F. Krummenacher, O. Kazanc, N. K. Pour, C. Pace, S. Rigert and M. Kayal, “A solar battery charger with maximum power point tracking”, Proceedings of the 18<sup>th</sup> IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS) ., Dec. 2011
- [5] P. Hung, H. Fahmy, O. Mencer, M. J. Flynn, “Fast division algorithm with a small lookup table” Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, 1999.
- [6] วีระเชษฐ ชื่นเงินและวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2012.
- [7] EET Co. LTD. “ET-BASE dsPIC30F4011”, Available from : [http://www.etteam.com/product2009/ET-PIC/ET-BASE\\_dsPIC30F4011.html](http://www.etteam.com/product2009/ET-PIC/ET-BASE_dsPIC30F4011.html) [2017,Jan 11].
- [8] EET Co. LTD. “ET-USB FLASH DRIVE”, Available from : [http://www.etteam.com/product/InterfaceBoard/ET-USB-FLASH-DRIVER\\_P-ET-A-00344.html](http://www.etteam.com/product/InterfaceBoard/ET-USB-FLASH-DRIVER_P-ET-A-00344.html) [2017,Jan 11].



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# *Interleaved Buck-Boost Charger by using Automatically Selective Technique between P&O and Lookup Table for Novel MPPT Application*

Yuttikarn Jaisa-ard and Anuwat Jangwanitlerl  
 Department of Electrical Engineering , Faculty of Engineering  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang , KMITL  
 Bangkok , Thailand  
 yuttikarn.j@gmail.com

**Abstract** - This paper shows the circuit and methodology of the new charger for tracking MPP on any level of irradiation by using Matlab Simulink Program. The circuit is the Interleaved Buck-Boost that is used to reduce output of ripple voltage and ripple current. The methodology is used and combined between P&O MPPT and Lookup Table MPPT. However, the P&O MPPT is the basic system to control the tracking of MPPT and record the values of both irradiation intensity and duty cycle in the Table. When the real value of irradiation intensity is under defined condition, the system operation will turn P&O MPPT to Lookup Table MPPT automatically. Therefore, the system operates MPPT quickly and solves the problem of the variation value of MPPT.

**Keywords** – MPPT, P&O, Lookup Table, Interleaved Buck-Boost Charger

## I. INTRODUCTION

In the past time, there were several methodologies for charging battery from solar cell. Especially, the methodologies that track MPP are very interesting because they transform energy of sunlight to energy of electricity extremely [1], such as Perturb and Observe algorithm (P&O) [3]. The P&O algorithm is the easiest methodology to track MPP but there is a problem about the variation value around MPP. It moves to and fro around the point, so the ability of controlling circuit is decreased. To solve above problem, the new-tracking-MPP is more practical because it is combined by P&O and Lookup Table [4] of MPPT. Moreover, it can record the related data between the values of irradiation intensity and duty cycle through P&O methodology. If the amounts of data are enough and the values of irradiation intensity are under defined condition, the system will turn P&O MPPT methodology to Lookup Table of MPPT automatically. The value of duty cycle, which is from Lookup Table of MPPT, is calculated by using the Rule of Three to predict a right value for tracking MPP. Therefore, the speed of Lookup Table of MPPT is faster than P&O MPPT.

In this paper, the main circuit is the Interleaved Buck-Boost [2] in order to reduce output ripple voltage and ripple current and a load of the circuit is resistance to test simulation simply.

## II. HOW THE CIRCUIT WORKS

### A. Main Circuit and PV module

Fig.1 shows the main circuit. There are many parts: PV module, Interleaved Buck-Boost Converter block, green block, and P&O vs. Lookup table MPPT block, purple block. The PV module is solar cell that is responded by values of irradiation intensity and temperature. However, it is not mentioned for the variation values of temperature in this paper. Therefore, the standard temperature is 25 °C. However, the record data will be used for 7 days and then it will be rerecorded again.

Fig.2 shows the simulation graph of irradiation intensity brought to test simulation.

### B. Converter Block

For Interleaved Buck-Boost Converter block in Fig.1, there are 3 inputs: Duty Cycle, +VIN and -VIN, and 2 outputs: +VOUT and -VOUT.

Fig.3 shows the Interleaved Buck-Boost Circuit. There are CLink, L1, L2, MOSFET1, MOSFET2, Diode1, Diode2 and Cout. The CLink is a capacitor that is located between input and other devices. The L1 and L2 are inductors to transfer energy of electricity. The MOSFET1 and MOSFET2 are switches to change the value of duty cycle. The Diode1 and Diode2 are devices that force the direction of current flow. Also, The Cout is a capacitor to provide for decreasing the voltage ripple.

### C. Control Block

For P&O vs. Lookup table MPPT block in Fig.1, there are 3 inputs: Iin, Vin and L. There are 2 outputs: Mode and Duty Cycle. For inputs, the Iin is used to receive the value of PV Current. The Vin is used to receive the value of PV Voltage. Also, L is used to get the value of Irradiation

intensity. For outputs, Mode is used to show the status of working system, high logic means Lookup table mode and low logic means P&O mode. Moreover, Duty Cycle is used to send value of duty cycle to control MOSFET in the Interleaved Buck-Boost Converter block.

Fig.4 shows the control part of system, the circuit in P&O vs. Lookup table of MPPT block, there is an Embedded MATLAB Function1 (EMF1) that is algorithm to track MPP by using automatically selective technique between P&O and Lookup Table. There are 4 inputs: V(Vin) , I(Iin) , L(L) and Digital Clock. The value of carrier frequency is operated at 40 kHz. There are 2 outputs outside the circuit: Mode and Duty Cycle. They are connected by 2 outputs that are inside the control block.

### III. TECHNIQUE AND CONTROL MODE

Both techniques, the P&O and Lookup Table, do not be operated as the same time but the EMF1 automatically selects one of both techniques to control MPPT. It will check the measured value of irradiation intensity to compare with the nearest value in the table. If the amounts of irradiation intensity value in the table are enough and can be calculated, the EMF1 will control MPPT in Lookup Table mode. On the other hand, if this condition is not true, the EMF1 will automatically change to control MPPT in P&O mode.

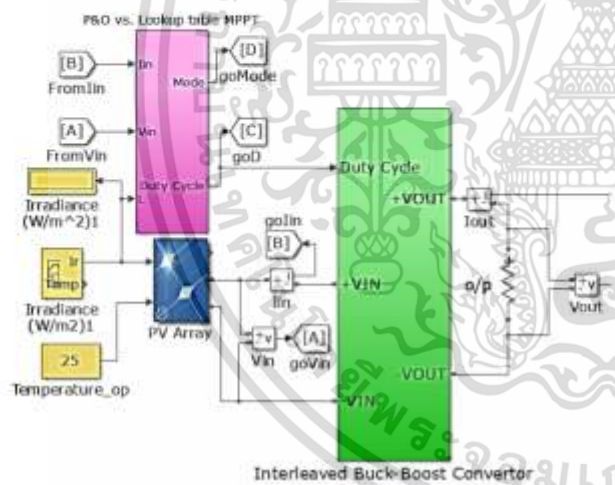


Fig.1 Main Circuit

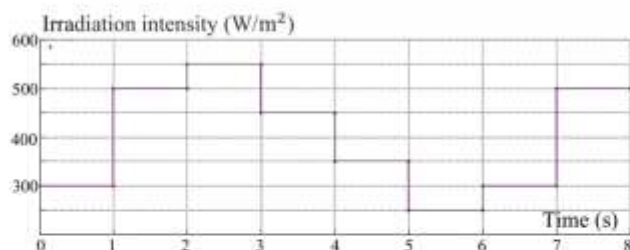


Fig.2 Simulated graph of irradiation intensity

#### A. P&O mode

It is a simple technique to track MPP and it can be applied to use with any kinds of PV. Let the EMF1 sample 1000 values of PV power for a period time, then average and record result as to be  $P_1$ . Next, let it do the same step and record the result as to be  $P_2$ . To compare the value between  $P_1$  and  $P_2$ , if the value of  $P_1$  is less than  $P_2$ , the value of Gain will be increased 0.01 for a step. On the other hand, if the value of  $P_1$  is more than  $P_2$ , the value of Gain will be decreased 0.01 for a step. Do the same step until system is operated at MMP. Therefore, the basic equation is given by (1)

$$V_{out} = dV_{in} \tag{1}$$

$d$  is the Gain and the equation of Buck-Boost is shown by (2)

$$d = \frac{D}{1 - D} \tag{2}$$

Rearrange (2) to be (3)

$$D = \frac{d}{1 + d} \tag{3}$$

$D$  is the value of duty cycle to control MOSFET.

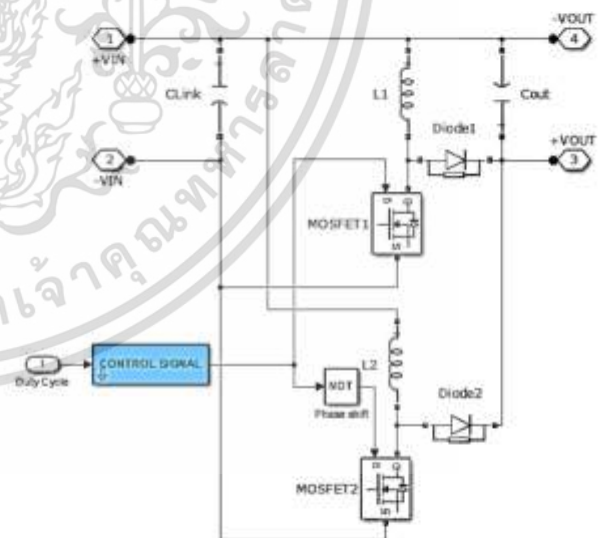


Fig.3 Interleaved Buck-Boost Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE I. Table of Lookup Table mode

<i>Lutable</i>	<i>Dutytable</i>
$L_1$	$D_1$
$L_2$	$D_2$
$L_3$	$D_3$
$L_4$	$D_4$
$L_5$	$D_5$
$\vdots$	$\vdots$
$L_{20}$	$D_{20}$

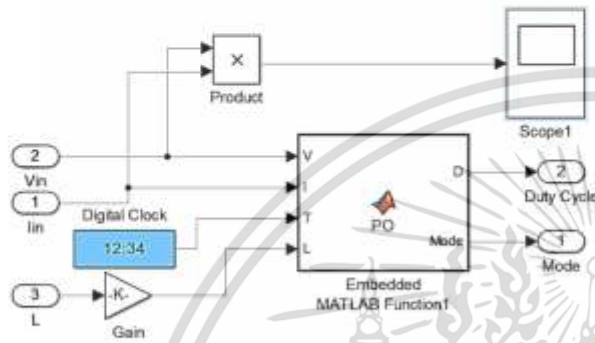


Fig.4 Control part of system

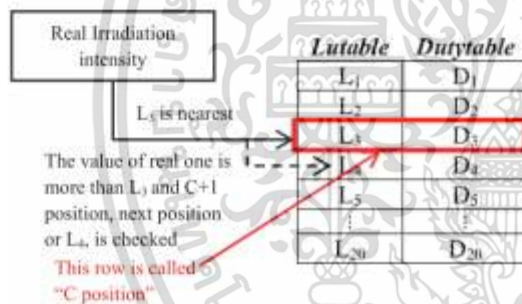


Fig.5 Example of checking condition

### B. Lookup Table mode

It is a methodology that is applied by using data in TABLE I that is recorded automatically by P&O technique. In TABLE I, there are 2 columns: *Lutable* and *Dutytable* column. For *Lutable* column, it is used to be recorded the value of irradiation intensity. Also *Dutytable* column is used to be recorded the value of duty cycle. The both columns in the same row must be recorded at the same time.

The value of real irradiation intensity is compared with the nearest one on the left column, *Lutable* column, in TABLE I. Lookup Table mode will be operated, when 1 from 3 conditions are true:

- 1) When the value of real irradiation intensity is more than the nearest one on the left column in the table, there is the value of irradiation intensity at the next

position, lower row than referable one, on the left column in the table.

- 2) When the value of real irradiation intensity is less than the nearest one on the left column in the table, there is the value of irradiation intensity at the former position, upper row than referable one, on the left column in the table.
- 3) When the value of real irradiation intensity is equal to the one on the left column in the table, there are the values of irradiation intensity at the next and former positions on the left column in the table.

On the other hand, if there are not any conditions are true, the system will be operated at P&O mode.

Fig.5 is the example case. Let the EMFI search the nearest value on the left column in the table.  $L_3$  is the nearest value and this row is called C position. Then, compares both values, the values of real irradiation intensity and the value of irradiation intensity at C position on the left column in the table. In this case, the value of real one is more than C position, and then check C+1 position as well. If there is the value of irradiation intensity at the next position on the left column in the table, the value of duty cycle will be calculated by using Rule of Three as (4)

$$D = Dutytable_C + \frac{(Dutytable_{C+1} - Dutytable_C)(L - Lutable_C)}{Lutable_{C+1} - Lutable_C} \quad (4)$$

The  $Dutytable_C$  is the value of duty cycle at C position on the right column in the table. The  $Lutable_C$  is the value of irradiation intensity at C position on the left column in the table. The  $Dutytable_{C+1}$  is the value of duty cycle at C+1 position on the right column in the table. Moreover, the  $Lutable_{C+1}$  is the value of irradiation intensity at C+1 position on the left column in the table.

If the value of real irradiation intensity is less than C position and there is the value of irradiation intensity at C-1 position on the left column in the table, the value of duty cycle will be calculated by using (5)

$$D = Dutytable_{C-1} + \frac{(Dutytable_C - Dutytable_{C-1})(L - Lutable_{C-1})}{Lutable_C - Lutable_{C-1}} \quad (5)$$

When the value of real irradiation intensity is equal to C position on the left column in the table, the value of duty cycle will be equal to the one at C position on the right column in the table.

### C. Recording data in the table

It is the sub methodology of P&O mode. The values of irradiation intensity and duty cycle from P&O mode are averaged for each second. They will be recorded in the table automatically, if 4 conditions are true:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) The variation value of real irradiation intensity is not more than 30 W/m<sup>2</sup> for 1 sec.
- 2) The variation value of duty cycle is not more than 0.03 for 1 sec.
- 3) The variation value of output power is not more than 3% of average output power for 1 sec.
- 4) There are not the values at the recorded position, referable row, on both columns in TABLE I or there is the new average value of real irradiation intensity that is nearer one of values in Referable Table, TABLE II, than the old value at the same recorded position in TABLE I.

For the example in Fig.6, there are  $L_{ave}$  and  $D_{ave}$ , the new average value of real irradiation intensity and the new one of duty cycle in order. Let the EMFI scan the nearest value of Lref on the right column in Referable Table and record the both values at the same position, 4<sup>th</sup>, in the TABLE I.

Fig.7 shows all methodologies of MPPT that are explained in above paragraphs.

IV. RESULTS

Fig.8(a) shows the output power simulation results. At the first 6 seconds, MPPT is controlled by P&O mode. At 1 second, the value of irradiation intensity is changed rapidly from 300 W/m<sup>2</sup> to 500 W/m<sup>2</sup> in Fig.2. Therefore, the MPP is changed dramatically and the output power is also changed. The P&O mode is spent time 0.028 second to be steady state in Fig.8(b). On the other hand, at over 6 seconds, MPPT is controlled by Lookup Table mode. At 7 seconds, the value of irradiation intensity is changed from 300 W/m<sup>2</sup> to 500 W/m<sup>2</sup> again. The output power is changed and Lookup Table mode is spent time for 0.022 second, less than 0.028, to be steady state in Fig.8(c).

Fig.8(d) and Fig.8(e) show the ripple of output power in P&O mode and Lookup table mode in order. The ripple of Lookup Table mode is less than P&O mode.

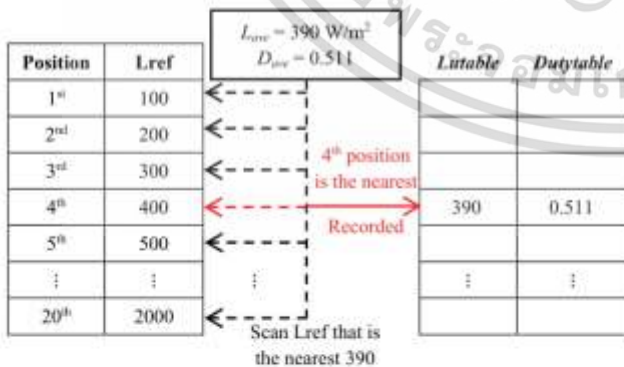


Fig.6 Example of Recording data in the table

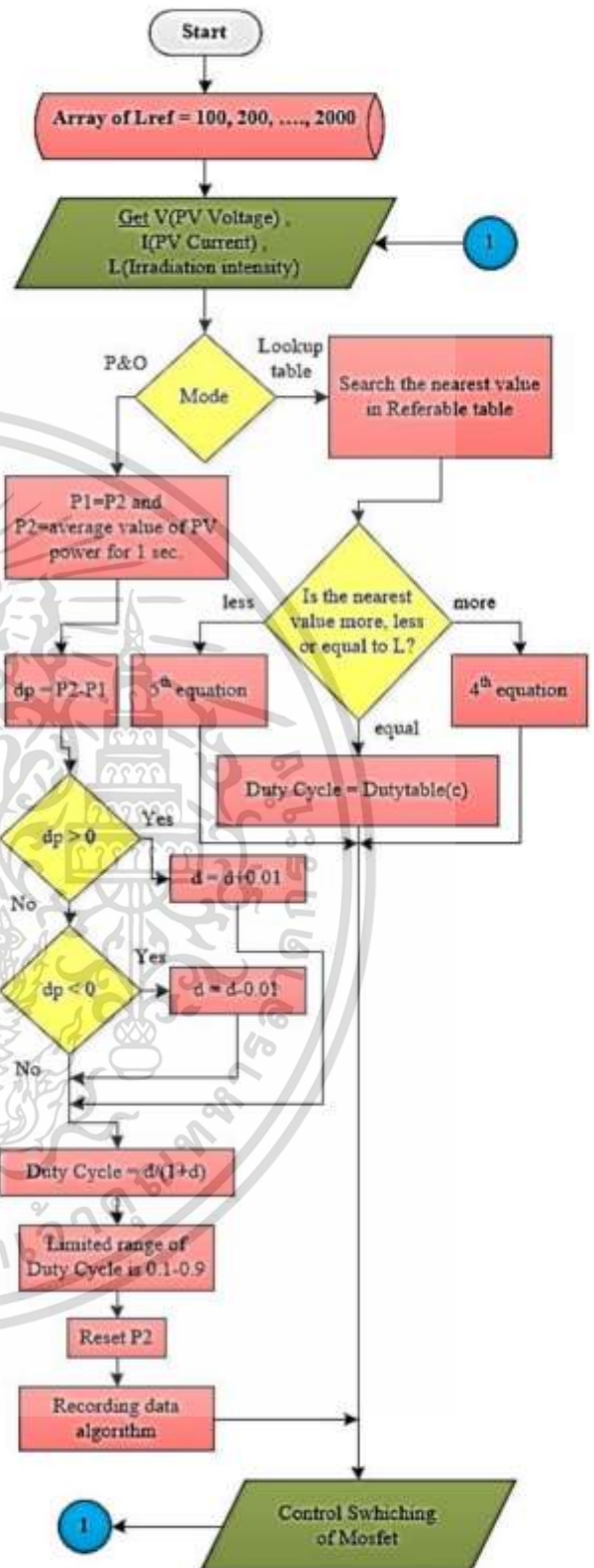
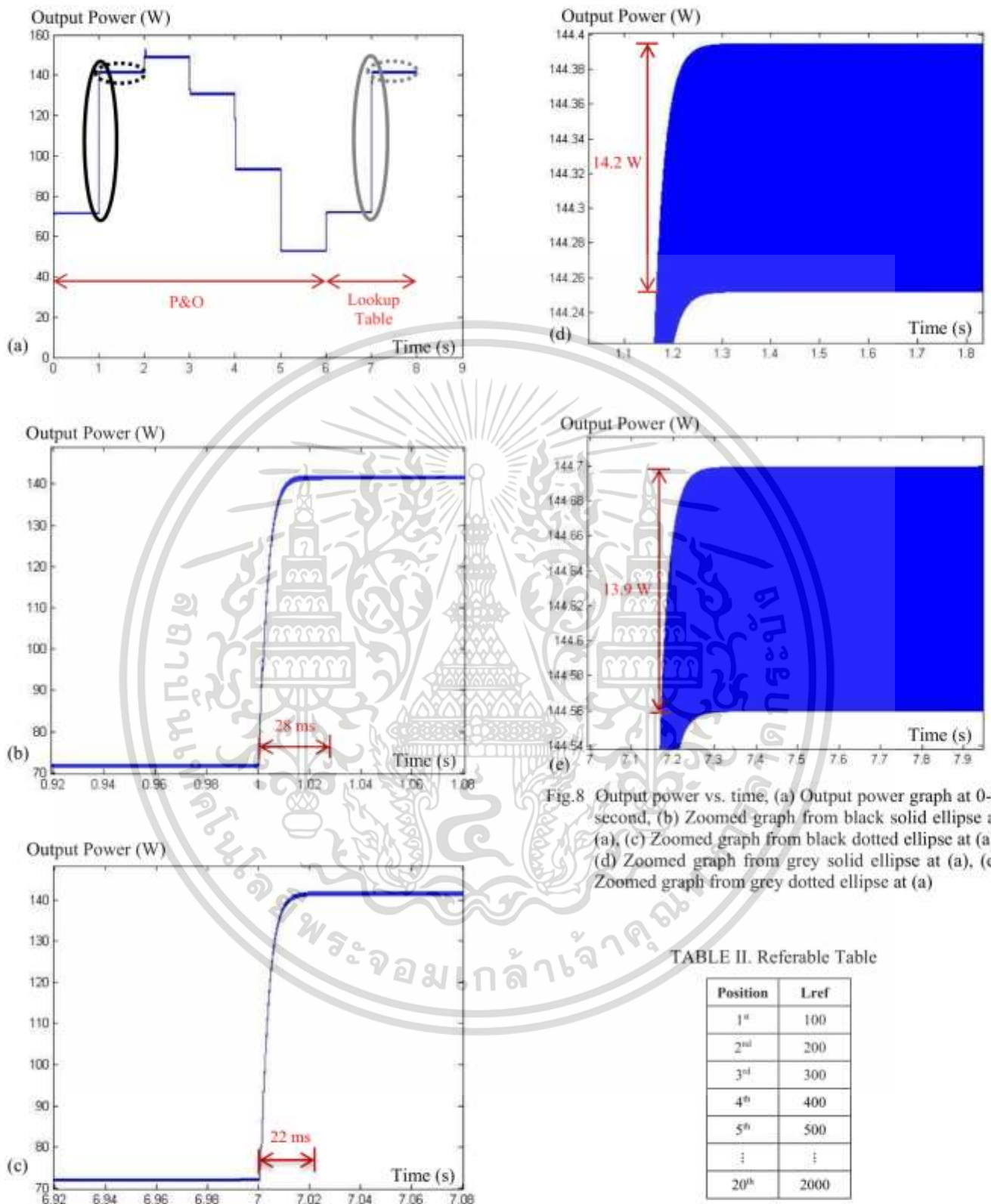


Fig.7 Flowchart of the system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## V. CONCLUSION

The P&O methodology operates as a random system. The system does not know the right value of duty cycle that reaches the MPP until it varies the value of duty cycle to find the right value on that time. Therefore, it must spend time for this step and it causes wasting time. Although the P&O methodology can reach the MPP, there is the variation value of duty cycle that affects the ripple of output power. On the other hand, the Lookup Table methodology works as the self-learning system. The system uses the recorded data of the P&O methodology to track the MPP when the value of irradiation intensity is under defined the condition. Therefore, this methodology is guaranteed. The speed of Lookup Table methodology is faster than P&O because the Lookup Table methodology can predict the right value of duty cycle to track MPP. Moreover, the variation value of duty cycle is disappeared and the ripple of output power is decreased.

## REFERENCES

- [1] V. V. R. Searpa, S. Buso, G. Spiazzi, "Low-Complexity MPPT Technique Exploiting the PV Module MPP Locus Characterization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 56, No. 5, May 2009.
- [2] R. Li, H. Njende, F. Schafmeister, P. Ide, "A Soft-Switching Interleaved DC-DC Converter with Integrated Magnetics for High Voltage Battery Charger," *Proceedings of the PCIM Europe 2014*.
- [3] S. Yam Prasad, B. Bimal Chhetri, B. Adhikary, D. Bista, "Microcontroller Based Intelligent DC/DC Converter to Track Maximum Power Point for Solar Photovoltaic Module," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2010.
- [4] W. Guo, M. Bardi, P. Yu, J. Wu, "Research on switch address lookup table based on TCAM," *Proceedings of the IET on Cyberspace Technology conference (CCT)*, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

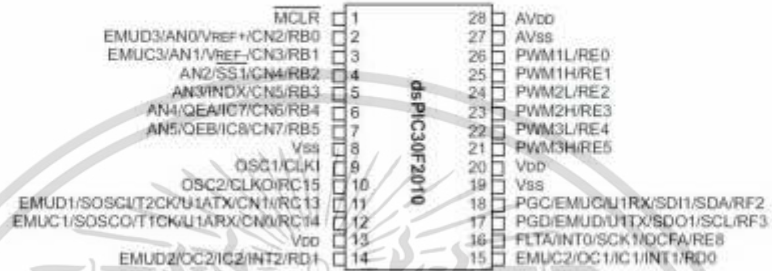


ภาคผนวก ข.

คุณลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE dsPIC30F2010/4011



รูปแสดงการจัดการสัญญาณของ dsPIC30F2010



รูปแสดงการจัดการสัญญาณของ dsPIC30F4011

Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	BRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap.	Output Comp/Sld PWM	Motor Control PWM	A/D 10-bit 500 Kbps	Quad Enc	UART	SPW	IC <sup>2</sup>	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	3	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F6015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	60	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

ตารางแสดง คุณสมบัติความแตกต่างของ dsPIC30F เบอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





www.vishay.com

IRF840, SiHF840

Vishay Siliconix

## Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
$V_{DS}$ (V)	500	
$R_{\theta(SJC)}$ (K)	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.85
$Q_{gs}$ max. (nC)	63	
$Q_{gs}$ (nC)	9.3	
$Q_{gd}$ (nC)	32	
Configuration	Single	

## FEATURES

- Dynamic  $dV/dt$  rating
- Repetitive avalanche rated
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc299612](http://www.vishay.com/doc299612)



## Note

This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non-RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details.

## DESCRIPTION

Third generation power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF840PBF SiHF840-E3
SrPb	IRF840 SiHF840

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)				
PARAMETER		SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage		$V_{DS}$	500	V
Gate-Source Voltage		$V_{GS}$	$\pm 20$	V
Continuous Drain Current	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D$	5.1	A
	$T_C = 25^\circ\text{C}$		8.0	
	$T_C = 100^\circ\text{C}$		5.1	
Pulsed Drain Current <sup>a</sup>		$I_{DM}$	32	A
Linear Derating Factor			1.0	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy <sup>b</sup>		$E_{AS}$	510	mJ
Repetitive Avalanche Current <sup>c</sup>		$I_{AR}$	8.0	A
Repetitive Avalanche Energy <sup>c</sup>		$E_{AR}$	13	mJ
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	125	W
Peak Diode Recovery $dV/dt$ <sup>c</sup>		$dV/dt$	3.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range		$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	°C
Soldering Recommendations (Peak temperature) <sup>d</sup>	for 10 s		300	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

## Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).  
 b.  $V_{GS} = 50\text{ V}$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 14\text{ mH}$ ,  $R_{\theta} = 25\ \Omega$ ,  $I_{DS} = 8.0\text{ A}$  (see fig. 12).  
 c.  $I_{DD} = 8.0\text{ A}$ ,  $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{GS} \leq V_{DS}$ ,  $T_J \leq 150^\circ\text{C}$ .  
 d. 1.6 mm from case.

S18-0754-Rev. D, 02-May-16

1

Document Number: 91070

For technical questions, contact: [tvsm@vishay.com](mailto:tvsm@vishay.com)

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT [www.vishay.com/doc291000](http://www.vishay.com/doc291000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

## IRF840, SiHF840

Vishay Siliconix

## THERMAL RESISTANCE RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.0	

SPECIFICATIONS ( $T_J = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Static</b>						
Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{DS}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\ \mu\text{A}$	500	-	-	V
$V_{DS}$ Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.78	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\ \mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	$\pm 100$	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 500\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	$\mu\text{A}$
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 400\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	0.85	$\Omega$
Forward Transconductance	$g_{fs}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 4.8\text{ A}$	4.8	-	-	S
<b>Dynamic</b>						
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}$	-	1300	-	pF
Output Capacitance	$C_{oss}$	$f = 1.0\text{ MHz}$ , see fig. 5	-	310	-	
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rss}$		-	120	-	
Total Gate Charge	$Q_g$	$I_D = 8\text{ A}, V_{GS} = 400\text{ V}$ , see fig. 6 and 13 <sup>a</sup>	-	-	63	nC
Gate-Source Charge	$Q_{gs}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	9.3	
Gate-Drain Charge	$Q_{gd}$		-	-	32	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$		-	14	-	ns
Rise Time	$t_r$	$V_{DD} = 250\text{ V}, I_D = 5\text{ A}$	-	23	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$	$R_{\theta} = 9.1\ \Omega, R_g = 34\ \Omega$ , see fig. 10 <sup>b</sup>	-	49	-	
Fall Time	$t_f$		-	20	-	ns
Internal Drain Inductance	$L_D$	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact	-	4.5	-	
Internal Source Inductance	$L_S$		-	7.5	-	
Gate Input Resistance	$R_i$	$f = 1\text{ MHz}$ , open drain	0.6	-	2.8	$\Omega$
<b>Drain-Source Body Diode Characteristics</b>						
Continuous Source-Drain Diode Current	$I_S$	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode	-	-	8.0	A
Pulsed Diode Forward Current <sup>a</sup>	$I_{SM}$		-	-	32	
Body Diode Voltage	$V_{SD}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 8\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	2.0	V
Body Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 8\text{ A}, dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	480	970	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	$Q_{rr}$		-	4.2	8.9	$\mu\text{C}$
Forward Turn-On Time	$t_{on}$	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S$ and $L_D$ )	-	-	-	

## Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).  
 b. Pulse width  $\leq 300\ \mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

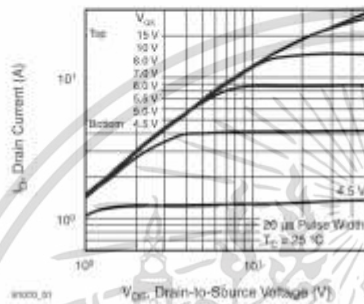


www.vishay.com

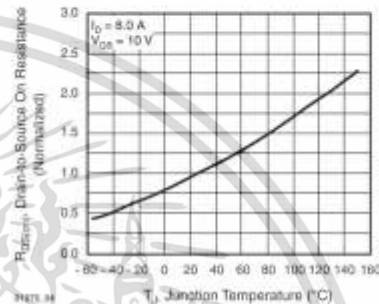
**IRF840, SiHF840**

Vishay Siliconix

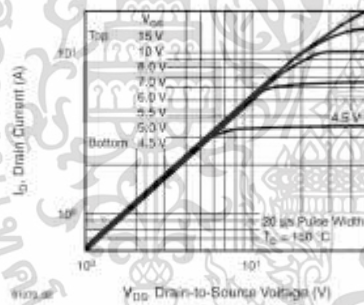
**TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)**



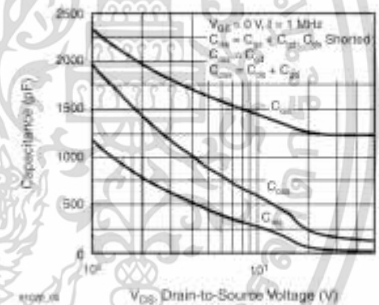
**Fig. 1 - Typical Output Characteristics,  $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$**



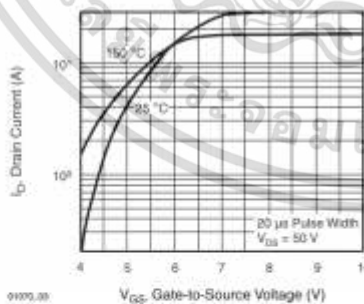
**Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature**



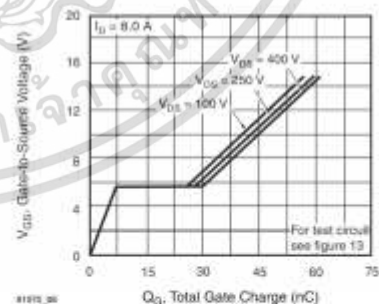
**Fig. 2 - Typical Output Characteristics,  $T_c = 150\text{ }^\circ\text{C}$**



**Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage**



**Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics**



**Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Drain-to-Source Voltage**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

**IRF840, SiHF840**

Vishay Siliconix

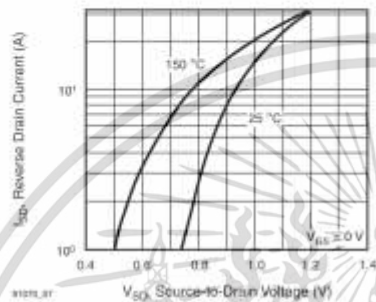


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

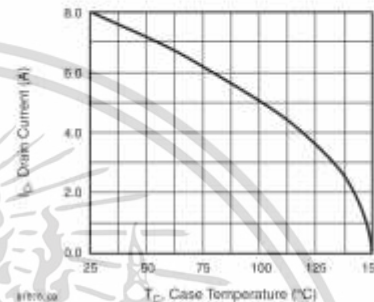


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

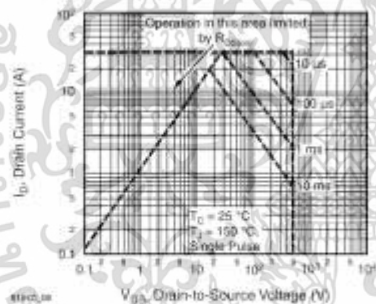


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

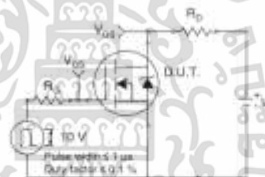


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit



Fig. 10b - Switching Time Waveforms

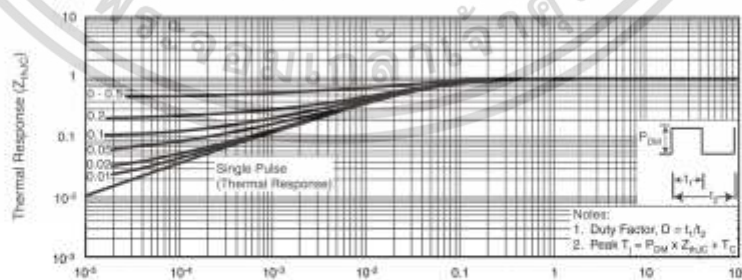


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

S18-0754-Rev. D, 02-May-16

4

Document Number: 91070

For technical questions, contact: [tvsm@vishay.com](mailto:tvsm@vishay.com)

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT [www.vishay.com/doc91000](http://www.vishay.com/doc91000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

IRF840, SiHF840

Vishay Siliconix

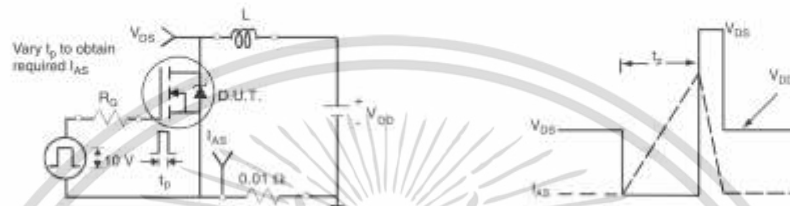


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

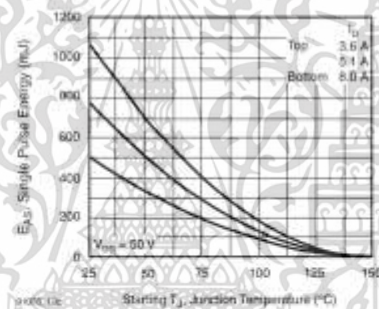


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

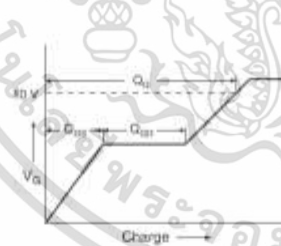


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

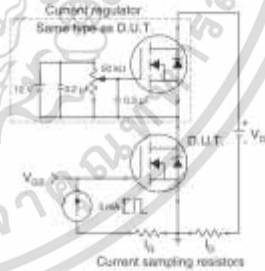


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

IRF840, SiHF840

Vishay Siliconix

Peak Diode Recovery  $dV/dt$  Test Circuit

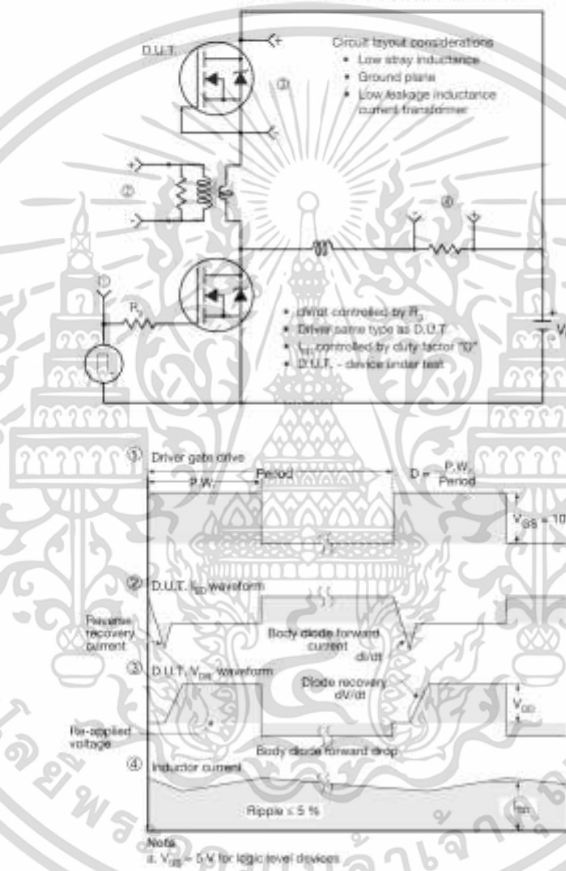


Fig. 14 - For N-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see [www.vishay.com/doc291070](http://www.vishay.com/doc291070).

S16-0754-Rev. D, 02-May-16

6

Document Number: 91070

For technical questions, contact: [tvsm@vishay.com](mailto:tvsm@vishay.com)

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT [www.vishay.com/doc291000](http://www.vishay.com/doc291000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

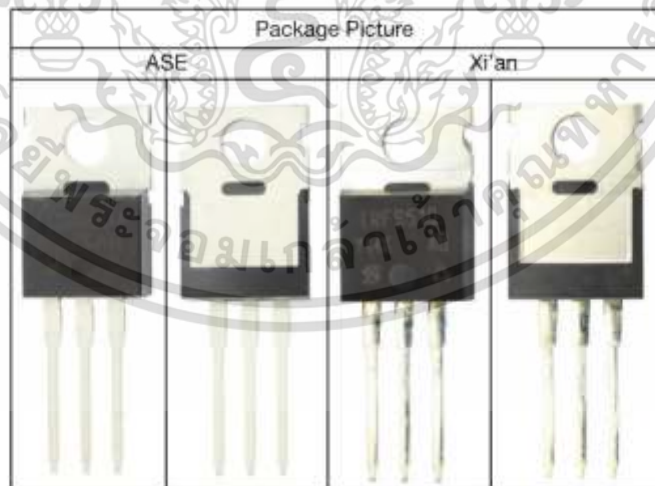
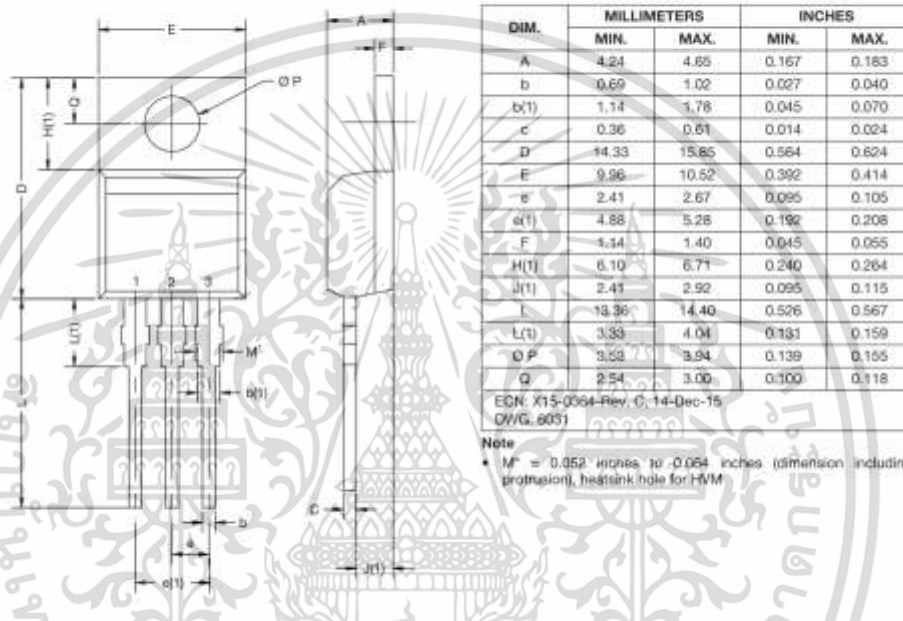


www.vishay.com

Package Information

Vishay Siliconix

TO-220-1



Revision: 14-Dec-15

1

Document Number: 66542

For technical questions, contact: [tvmt@vishay.com](mailto:tvmt@vishay.com)

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT [www.vishay.com/docds291000](http://www.vishay.com/docds291000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายยุติการณ์ ใจสะอาด  
 วัน เดือน ปีเกิด 18 ธันวาคม พ.ศ. 2534  
 ที่อยู่ 55/57 มบ.บุรีรัมย์-ซาฟารี ถ.เลียบคลองสอง 23 แขวงสามวาตะวันตก  
 เขตคลองสามวา จ.กรุงเทพฯ 10510  
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ม.บูรพา  
 ความชำนาญเฉพาะด้าน

1. ควบคุมระบบการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ dsPIC และการเขียนภาษา C
  2. ประยุกต์การใช้งานเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- พ.ศ. 2559 ตีพิมพ์บทความเรื่อง “*Interleaved Buck-Boost Charger by using Automatically Selective Technique between P&O and Lookup Table for Novel MPPT Application*” ในวารสารงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติทางวิศวกรรมไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ การสื่อสาร และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 13 (the 13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้